

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Martin Střelec

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

***Diagnostický modul pro olověné akumulátory s jednočipovým
mikropočítačem***

Diagnostic Module for Lead Acid Batteries with a Microcontroller

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

KOPIE

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Střelec**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: Diagnostický modul pro olověné akumulátory s jednočipovým mikropočítačem
Diagnostic Module for Lead Acid Batteries with a Microcontroller

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor možných metod vhodných pro diagnostiku zbytkové kapacity olověného akumulátoru.
2. Navrhněte a realizujte diagnostický modul pro olověný 12V akumulátor s využitím jednočipového mikropočítače.
3. Na realizovaném vzorku proved'te ověření jeho funkce a měření důležitých veličin.

Seznam doporučené odborné literatury:

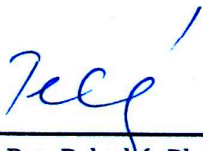
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Zadání:

1. Proveďte rozbor možných metod vhodných pro diagnostiku zbytkové kapacity oloveného akumulátoru.
2. Navrhněte a realizujte diagnostický modul pro olovený 12V akumulátor s využitím jednočipového mikropočítače.
3. Na realizovaném vzorku proveďte ověření jeho funkce a měření důležitých veličin.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.


Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 4.5.2012


.....
Autor

Abstrakt

Cílem práce je vytvořit modul s jednočipovým mikropočítačem umožňující diagnostiku hermetických olověných akumulátorů při nabíjení a vybíjení. Práce se zabývá problematikou měření a zpracovávání analogových veličin pomocí jednočipového mikropočítače a jejich zobrazením. Vytvořený modul nemá vliv na nabíjení, nebo odběr z akumulátoru a umožňuje měření důležitých veličin, které zobrazuje na podsvíceném LCD displeji.

Klíčová slova

Olověný akumulátor, nabíjení, diagnostika, vnitřní odpor akumulátoru, mikropočítač, C++, SDCC, AD převodník, LCD displej, operační zesilovač, AT89S52, ADC0804CN, TL062

Abstract

Aim is create a module with a microcontroller to allow diagnosis hermetic lead-acid batteries during charging and discharging. The work deals with measurement and processing of analog values using a single-chip microcomputer and display. A module does not affect the charging of the battery consumption and allows the measurement of important variables that displayed on the backlit LCD display.

Key Words

Lead acid battery, charging, diagnostics, battery internal resistance, microcomputer, C++, SDCC, AD converter, LCD display, operational amplifier, AT89S52, ADC0804CN, TL062

Obsah

Obsah.....	5
1. Olověné akumulátory	6
1.1 Nabíjení a vybíjení	6
1.2 Diagnostika zbytkové kapacity	8
1.3 Skutečný akumulátor – měření.....	10
2. Měření napětí a proudu mikropočítačem.....	11
2.1 Měření proudu	11
2.2 Měření napětí	11
3. Vytvoření zapojení	12
3.1 Vstupy	12
3.2 Zobrazení výsledků	16
3.3 Ovládání	16
3.4 Pomocné obvody	17
4. Vytvoření programu	19
4.1 Obsluha vstupů.....	19
4.2 Obsluha LCD	20
4.3 Obsluha ovládání.....	20
4.4 Zpracování dat.....	21
5. Oživení	27
5.1 Naprogramování modulu.....	27
5.2 Ověření funkčnosti měřením.....	28
Závěr:	31
Literatura	32
Seznam příloh.....	I
Schéma zapojení.....	II
Schéma zapojení.....	II
Uživatelská příručka.....	III
Deska plošných spojů.....	V
Osazovací plán	VI
Tabulky naměřených hodnot vybíjecích charakteristik.....	VII

1. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory představují jeden z nejdéle rozšířených zdrojů mobilní energie. Najdeme je ve všech automobilech a motocyklech v podobě startovacích akumulátorů, slouží jako akumulací články při využívání záložních zdrojů nejrůznějších zařízení. I v dnešní době plní olověný akumulátor se zalitými elektrodami nepostradatelnou roli, i přes svou velikost, hmotnost a pouze několikaletou životnost. Je to způsobeno jejich jednoduchostí, příznivě nízkou cenou a schopnostmi dodávat velmi vysoký krátkodobý proud za krátký čas (stovky Ampér), také nenáročností na obsluhu a provozní podmínky a poměrně jednoduchým způsobem nabíjení.

Modernější obdobou akumulátorů s elektrodami zalitými kyselinou jsou bezúdržbové akumulátory, jež mají elektrody také obklopeny kyselinou, avšak je vázána skelným vláknem (AGM), nebo je v podobě gelu (Gelové). Tyto akumulátory nevyžadují žádnou údržbu spojenou s udržováním stavu kyseliny, jak tomu bylo u zalitých akumulátorů, dokonce ani neumožňují přístup k elektrodám. [10]

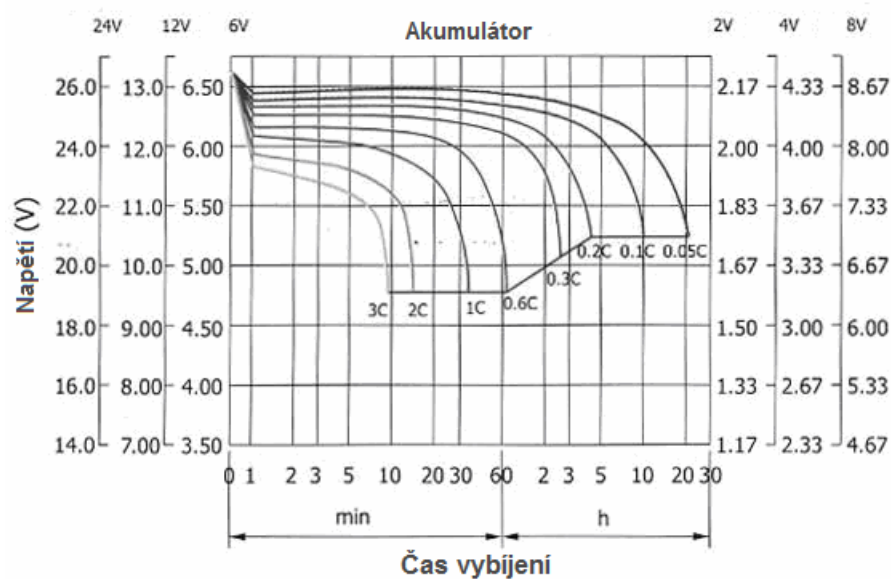
1.1 Nabíjení a vybíjení

Nabíjení olověných hermetických akumulátorů se provádí zdrojem konstantního proudu typické velikosti 1/10 kapacity akumulátoru, po dosažení prahového nabíjecího napětí určeného výrobcem je nutné snížit nabíjecí proud na hodnotu udržovacího proudu, jinak by došlo k plynování elektrolytu a tím i k nevratnému poškození akumulátoru. Lze nabíjet i vyšším proudem, avšak je tím snižována životnost a kapacita akumulátoru.

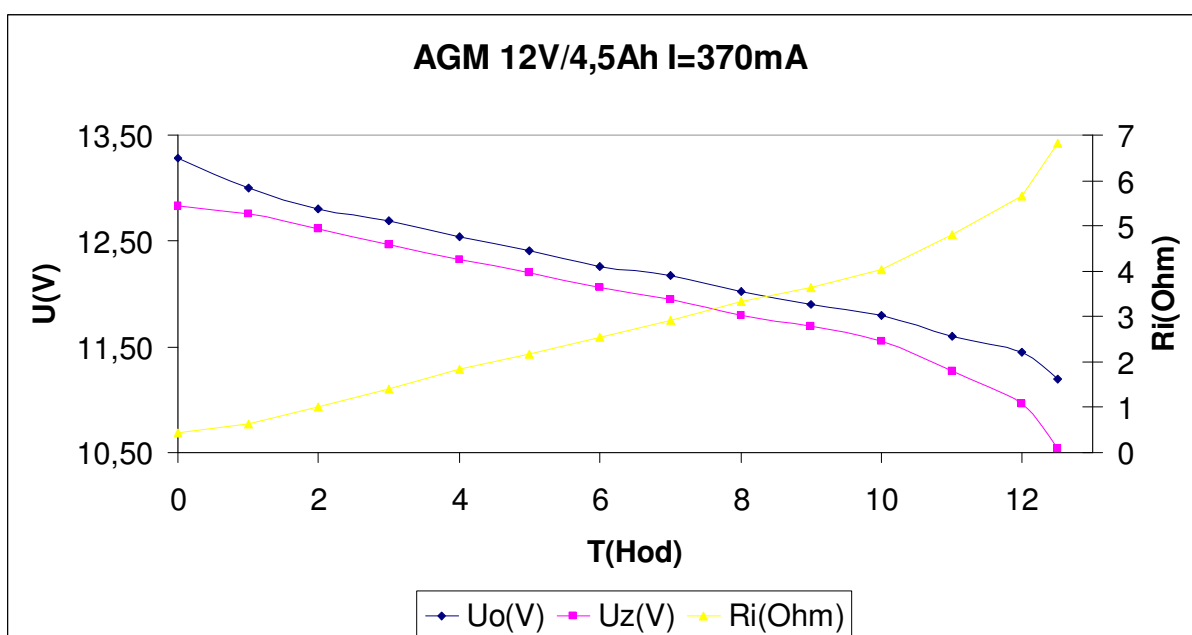
Nabíjení klasických akumulátorů s tekutou kyselinou se provádí obdobným způsobem pomocí konstantního proudu ideálně velikosti 1/10 kapacity akumulátoru. Před začátkem nabíjení je nutné uvolnit kryty jednotlivých článků (víčka, špunty) aby mohlo docházet k plynování elektrolytu (v opačném případě by mohlo dojít k proražení bezpečnostního tlakového ventilu, popř. výbuchu a zničení baterie). Dohled nad nabíjením baterie není tolik kritický jako u bezúdržbových akumulátorů, postačí omezit nabíjecí dobu na 11-12h při dodržení omezení proudu na 1/10 kapacity akumulátoru. další důležitou podmínkou správné funkčnosti akumulátoru je dostatečné množství elektrolytu, jeho hladina se udržuje doléváním destilované vody tak, aby byly elektrody dostatečně zaplaveny.

Vybíjení je možné provádět až do prahového vybíjecího napětí, které se odvíjí od velikosti vybíjecího proudu a je obdobně určeno výrobcem a také vypsáno na krytu baterie. Prahové vybíjecí napětí je tím nižší, čím je vyšší vybíjecí proud viz. Tab. 1.1.

Z vybíjecí charakteristiky je patrné, že napětí při určitých fázích vybití je závislé na velikosti vybíjecího proudu. Křivku lze teoreticky linearizovat a rozdělit na počáteční pracovní část při které je napětí téměř konstantní a koncovou část kdy dochází k rychlému snížení napětí. Reálná vybíjecí charakteristika se liší především téměř lineárním průběhem vybíjení. [12]



Obr. 1.1a Ideální vybíjecí charakteristiky udávané výrobcem



Obr. 1.1b Vybíjecí charakteristika reálného akumulátoru

Vybíjecí proud (A)	Prahové vybíjecí napětí (V/článek)	Pro 12V Akumulátor (V)
$(A) \leq 0,2C$	1,75	10,5
$0,2C \leq (A) \leq 0,5C$	1,7	10,2
$0,5C \leq (A) \leq 1C$	1,6	9,6
$(A) \geq 1C$	1,4	8,4

Tab. 1.1 Prahové vybíjecí napětí

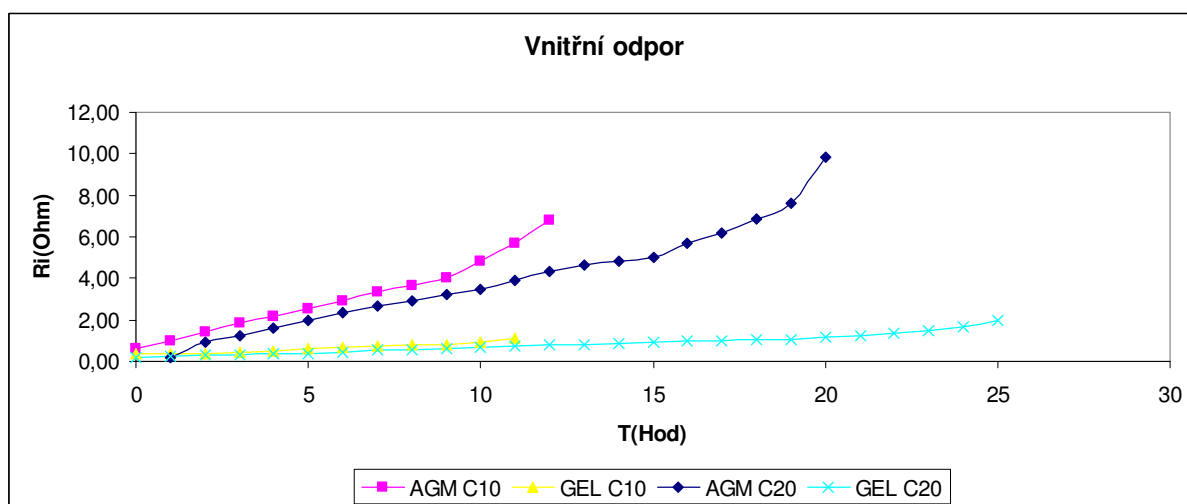
1.2 Diagnostika zbytkové kapacity

Diagnostiku je možné provádět pomocí mnoha měřitelných veličin - napětí naprázdno, napětí při zátěži, přeneseného náboje, vnitřního odporu, diferenciálního odporu.

Diagnostika zbytkové kapacity je obtížná zvláště u neznámých akumulátorů, které nejsou sledovány po celou dobu životnosti. S životním cyklem akumulátoru klesá jeho kapacita, stoupá jeho vnitřní odpor, tím klesá jeho maximální zatížitelnost, zrychluje se samovybíjení. Na všechny tyto nežádoucí vlastnosti má vliv nejen stáří akumulátoru ale především údržba a zatěžování během života.

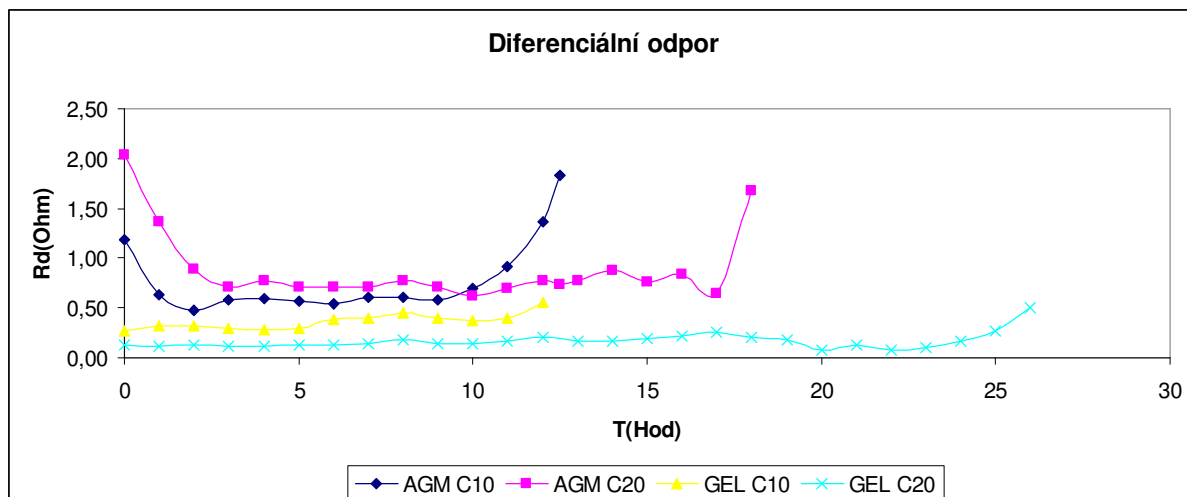
Při dodržování správných pracovních podmínek má akumulátor životnost několik (u některých výrobců i desítek) let, při nesprávném nabíjení, častém vybíjení příliš velkými proudy a nedodržování prahových vybíjecích napětí, může klesnout životnost akumulátoru až na pouhých několik desítek cyklů.

Diagnostika pomocí vnitřního odporu je vhodná pro známý typ akumulátoru, který je sledovaný od začátku životního cyklu, kdy můžeme sledovat postupné zvyšování vnitřního odporu ve stejné fázi vybití. Jak bylo řečeno výše, s životním cyklem vnitřní odpor stoupá, u neznámého akumulátoru nelze tedy jednoznačně určit stupeň vybití. Pro správnou diagnostiku by bylo nutné u daného akumulátoru změřit celou vybíjecí charakteristiku, což je ve většině případů v praxi nevyužitelné. Na Obr. 1.2.1 je ukázán vnitřní odpor pro dva různé akumulátory, je zde ukázáno, že při vyšším vybíjecím proudu je vnitřní odpor rozdílnější a tím i lépe měřitelný. Vyobrazené charakteristiky Gelového akumulátoru s vysokou kapacitou ukazují že je elektricky „tvrdší“ a nabývá tedy nižšího a stabilnějšího vnitřního odporu.



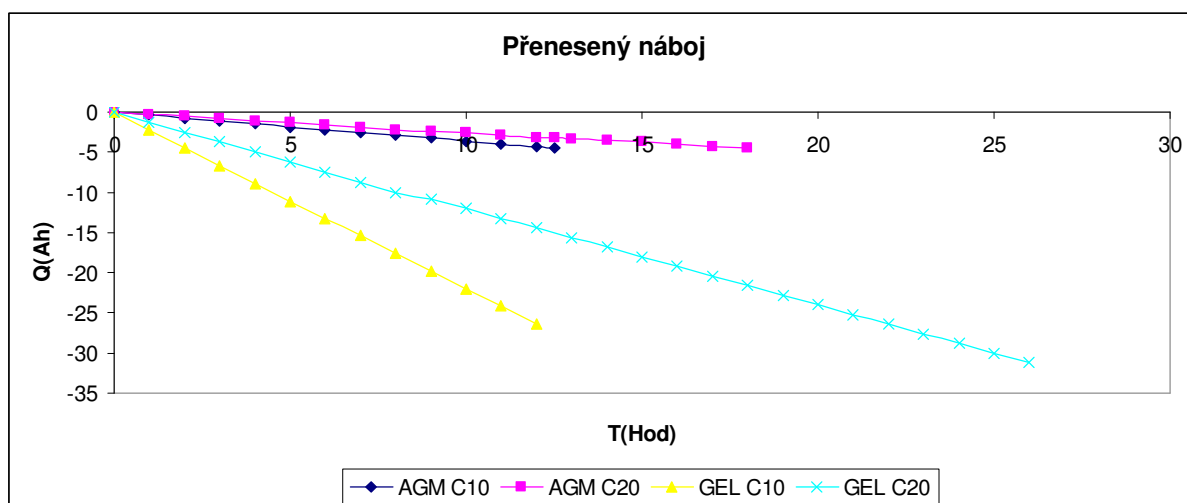
Obr. 1.2.1 Diagnostika pomocí vnitřního odporu

Diagnostika pomocí diferenciálního odporu lze využít pouze pro určení kritické hranice vybití, protože diferenciální odpor se téměř nemění během celého cyklu vybíjení, velká změna proběhne na počátku kdy rychle klesá hodnota napětí a poté na konci vybíjecí charakteristiky. Diferenciální odpor je možno získat během vybíjení za pomoci přídavné zátěže, kdy měříme napětí a proud před připojením a po připojení zátěže, kdy pak
$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U - U_z}{I - I_z}$$



Obr. 1.2.2 Diagnostika pomocí vnitřního odporu

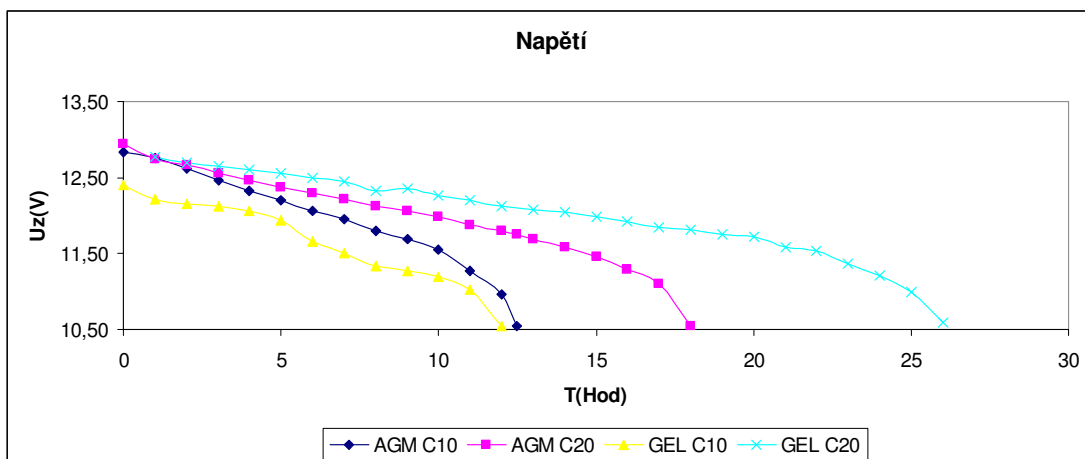
Diagnostika pomocí přeneseného náboje je obdobou diagnostiky vnitřního odporu, není použitelná pro neznámý akumulátor v neznámém stupni vybití, protože s životním cyklem akumulátoru se jeho využitelná kapacita snižuje. Museli bychom tedy opět změřit celou vybíjecí charakteristiku a následně začít s měřením přeneseného náboje při plně nabitém akumulátoru. Dalším nevhodným parametrem je nelinearita kapacity akumulátoru při různých vybíjecích proudech. Při malém vybíjecím proudu je možné dosáhnout až 150% jmenovité kapacity, což také stěžuje diagnostiku.



Obr. 1.2.3 Diagnostika pomocí přeneseného náboje

Diagnostika pomocí napětí je nejvhodnější z hlediska použitelnosti na libovolný typ neznámého akumulátoru za provozu. Při využití napětí naprázdno je nutné aby akumulátor byl bez zátěže minimálně několik hodin, což je v provozu nepoužitelné, proto se využívá diagnostika s využitím napětí při zátěži. Při určité zátěži jsme schopni jednoduše měřit napětí na akumulátoru a proud zátěží. Z aktuálního proudu a známé jmenovité kapacity se určí vybíjecí čas akumulátoru, spolu s změřeným napětím se porovná se známými vybíjecími charakteristikami. Z vybíjecích charakteristik, viz. 5.2, vyplývá, že jednotlivým fázím vybití akumulátoru odpovídají přibližně stejné napětí jak pro různé akumulátory, tak pro různé vybíjecí proudy. Charakteristiky jsou odlišné

pro různé kapacity akumulátorů, není tedy možné provádět diagnostiku s velkou přesností, vytvořený krok 25% dostačuje pro přehled nad akumulátorem a možnost včasného odpojení.



Obr. 1.2.4 Diagnostika pomocí napětí při zátěži

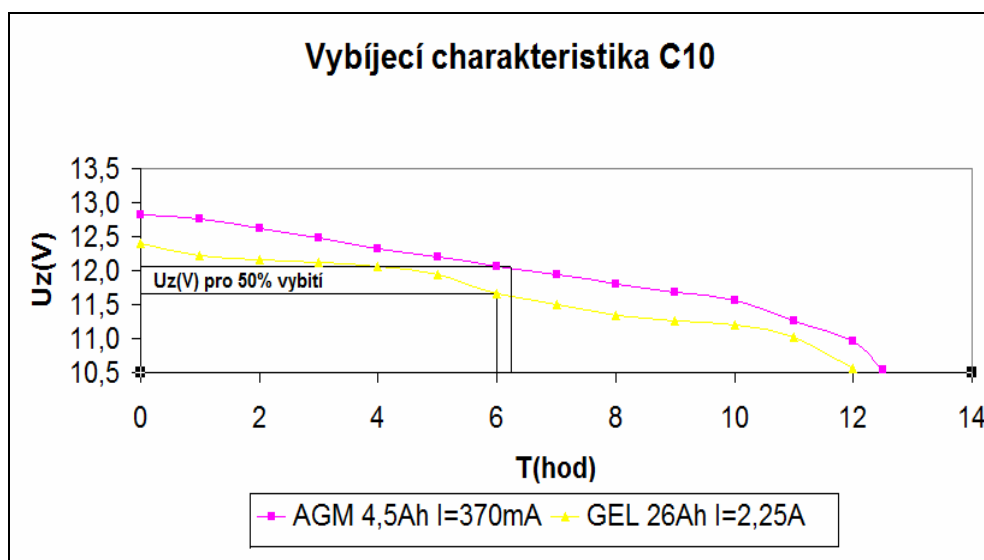
1.3 Skutečný akumulátor – měření

Pro pokusné měření byly zvoleny dva rozdílné bezúdržbové akumulátory, rozdíl byl v kapacitě a v provedení.

1. Akumulátor typu AGM LONG 12V/4,5Ah
2. Akumulátor typu GEL Shimastu 12V/26Ah

Oba akumulátory byly podrobeny kontrolovanému vybíjení za pomoci zátěže – žárovky, tato zátěž umožňuje stabilizaci odebíraného proudu, je to způsobeno vlastnostmi wolframového vlákna. Byly změřeny vybíjecí charakteristiky pro tři různé zátěže, odpovídajícím přibližně vybíjecím charakteristikám C10, C20, C40, tyto charakteristiky odpovídají době vybíjení akumulátoru (10, 20 a 40h). Z naměřených hodnot napětí a proudů byl určen vnitřní odpor a kapacita akumulátorů viz. 5.2.

Z vybíjecích charakteristik byly určeny jednotlivé rozsahy napětí, odpovídající stupňům vybití pro pozdější diagnostiku. Způsob určení je jasně patrný z Obr. 1.3.



Obr. 1.3 Určení mezních napětí z vybíjecí charakteristiky

2. Měření napětí a proudu mikropočítačem

Měření analogových veličin je v digitální technice vždy technicky náročné, je nutné převést analogovou veličinu na digitální, obvykle se k tomuto využívá napět'ových AD převodníků, existují i speciální převodníky proudu, otáček, teploty atd. Při každém takovémto převodu dochází do určité míry ke ztrátě dat a tím i přesnosti, protože každý AD převodník má určený rozsah převodu, např. 8 bitů, což znamená že celý vstupní analogový rozsah je schopen rozdělit na $2^8 = 256$ dílů.

2.1 Měření proudu

Měření proudu je možno provést pomocí proudového bočníku nebo pomocí integrovaného převodníku I/U, který využívá Hallovu sondu např. viz.[5]. Pro měření bylo zvoleno jednodušší řešení pomocí měření napětí na proudového bočníku. Bočník je realizován pomocí výkonového rezistoru s nízkým odporem. Procházející proud vytváří napět'ový úbytek na bočníku s polaritou odpovídající směru procházejícího proudu. Úbytek napětí je zpracováván pomocí napět'ového A/D převodníku z něhož může být převedená binární hodnota přímo čtena pomocí mikropočítače. Napět'ové A/D převodníky mohou ve velké většině zpracovávat pouze unipolární vstupní napětí nízkých úrovní (jednotek voltů). Pokud je požadováno měřit pouze proud tekoucí jedním směrem, bude vznikat pouze kladný úbytek a můžeme použít A/D převodník bez dalších předřadných obvodů. Pokud budeme chtít měřit jak kladný, tak záporný proud, je nutné pomocí předřadných obvodů zajistit úpravu napětí z unipolárního na bipolární. Tato úprava je možná např. pomocí rozdílového zesilovače viz. 3.1

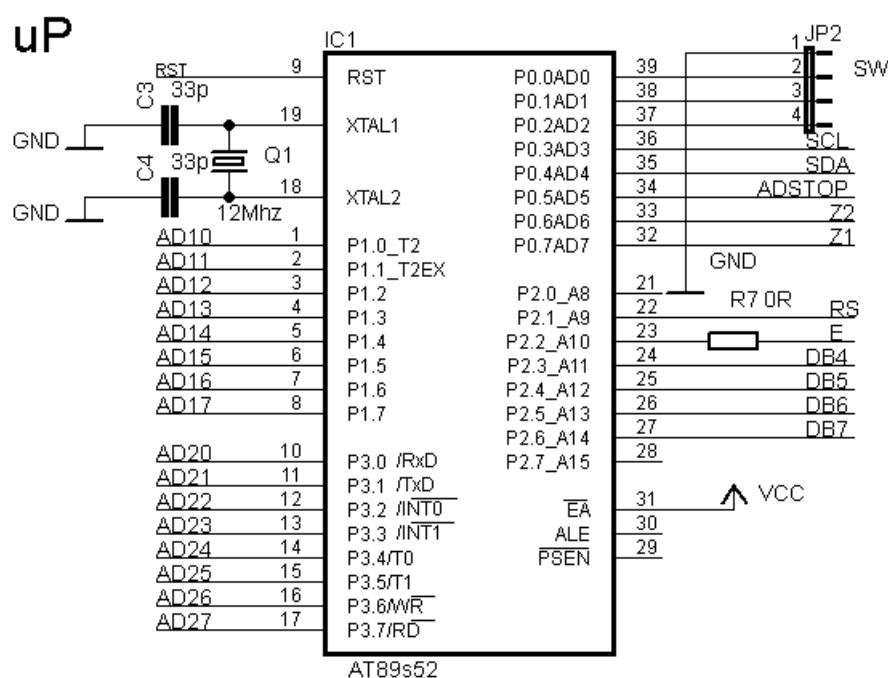
2.2 Měření napětí

Napětí je možno měřit pomocí napět'ových A/D převodníků viz. 2.1, měřené napětí musí být upraveno na rozsah odpovídající vstupnímu rozsahu A/D převodníku, u jednoduchých aplikací postačí použít odporový dělič. Vstup A/D převodníku odebírá zanedbatelný proud v řádu μA , můžeme tedy dělič považovat za nezatížený, což zjednoduší výpočet hodnoty jednotlivých odporů.

Pokud aplikace vyžaduje přesnější měření napětí, nebo měření pouze určitého rozsahu napětí, v našem případě $U_{in} = 10 \div 15\text{V}$, je zapotřebí pomocí předřadného obvodu upravit vstupní napětí pro A/D převodník viz. 3.1

3. Vytvoření zapojení

Hlavním prvkem celého přístroje je mikropočítač Atmel 89S52, jeho zapojení je nenáročné, pro svou funkčnost vyžaduje jen minimum externích obvodů. Pro základní funkčnost je nutný pouze zdroj napájecího napětí, externí krystalový oscilátor a obvod resetu. Obvod poskytuje čtyři osmi-bitové porty, umožňuje tedy využít až 32 oddělených vstupů/výstupů. Pokud používáme jednotlivé výstupy při spínání v Log.1 (5V), je nutné je doplnit pull-up rezistory, protože výstupy není možné proudově namáhat. Při spínání v Log.0 (0V) není nutné žádných úprav, obvod umožňuje zatížení jednotlivých výstupů až 20mA/výstup.



Obr. 3 Schéma připojení mikropočítače

Pro zjednodušení schématu jsou všechny periferie připojeny pomocí pojmenování spojů. Rezistor s nulovou hodnotou na výstupu E (P2.2_A10) je osazen pouze z důvodu plnění funkce drátové propojky, nutné při tvorbě DPS.

3.1 Vstupy

Vstupem dat pro diagnostický modul je napětí na akumulátoru a proud tekoucí do akumulátoru nebo opačným směrem do zátěže. Pro měření jsou zvoleny napěťové 8-bitové paralelní A/D převodníky [6]. Umožňují řízený i automatický převod a zastavení „freeze“ poslední hodnoty na výstupu, což je výhodné, protože odpadá nutnost řízení a časování převodu viz. 4.1

Proud měřený modulem byl pro testovací zapojení zvolen $I_{1\max} = \pm 1A$, při požadavku na zvětšení rozsahu stačí vyměnit proudový bočník a změnit převodní konstantu v programu viz. 4.1. Proudový bočník byl zvolen tak, aby maximální úbytek napětí na něm byl $Ub_{\max} = 1V$, hodnota odporu bočníku a maximální výkonová ztráta bude

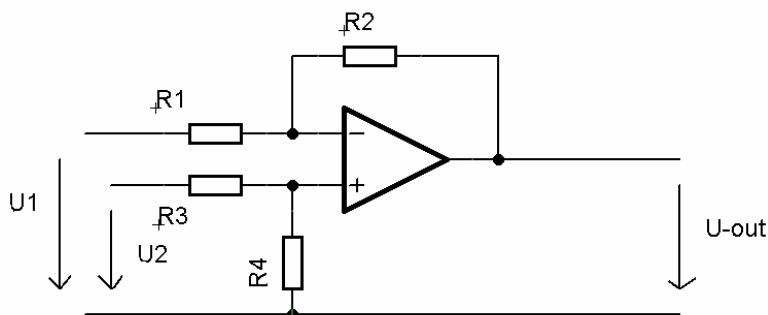
$$Rb_1 = \frac{Ub_{\max}}{I_{1\max}} = \frac{1V}{1A} = 1\Omega \quad P_{1\max} = Ub_{\max} \cdot I_{1\max} = 1W$$

hodnota úbytku byla volena s ohledem na možnost rozšíření měřeného proudu na $I_{2\max} = \pm 10A$, pro tento rozsah by byla hodnota odporu

$$R_{b_2} = \frac{U_{b\max}}{|I_{2\max}|} = \frac{1V}{10A} = 0,1\Omega \quad P_{2\max} = U_{b\max} \cdot I_{2\max} = 10W$$

což je nejnižší vyráběná hodnota.

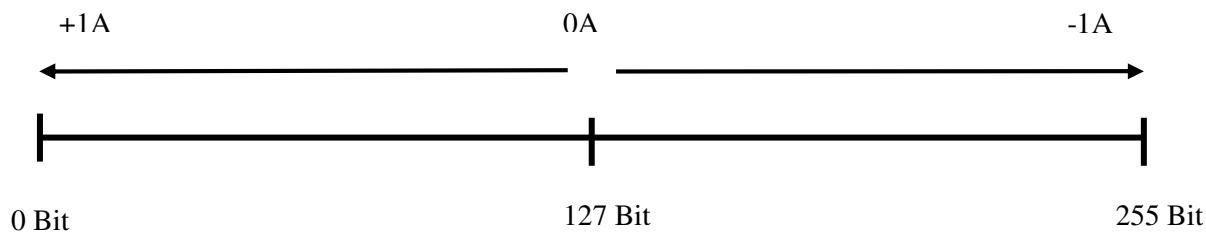
Úbytek napětí na bočníku bude tedy $U_b = \pm 1V$ dle směru proudu, což je nevyhovující, protože vstup A/D převodníku je unipolární s rozsahem $U_{inAD} = 0 \div 5V$, s rozsahem přiřazených hodnot $(0)_V \approx (0)_B; (5)_V \approx (255)_B$. Pro úpravu vstupního napětí byl zvolen rozdílový zesilovač realizovaný pomocí operačního zesilovače. Pomocí rozdílového zesilovače byl rozdělen rozsah vstupního napětí na polovinu, kdy každá bude sloužit pro převod jiného směru proudu.



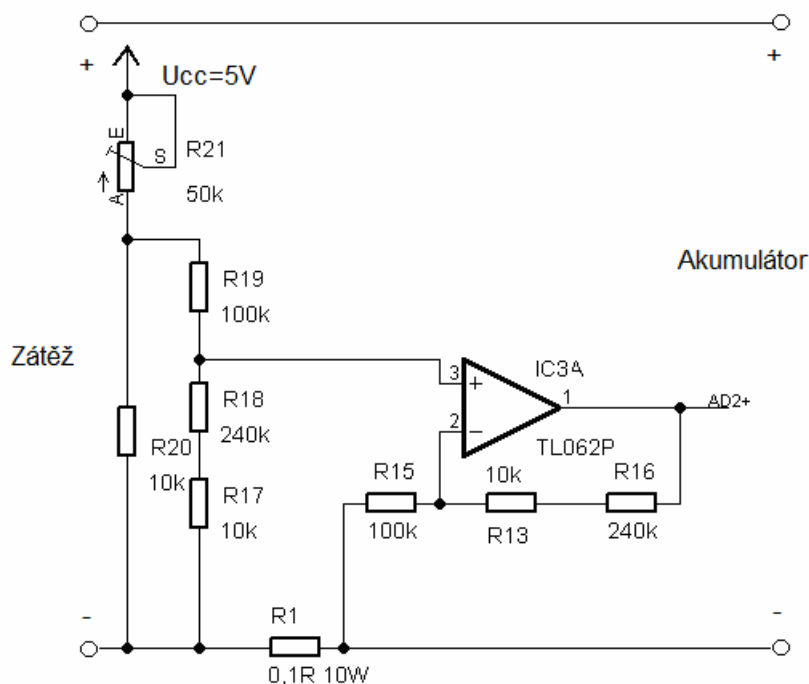
Obr. 3.1.1 Rozdílový zesilovač

Výstupní napětí zesilovače je určeno vztahem viz. [7] $U_{out} = \frac{R_2}{R_1}(U_{Iref} - U_b)$ za předpokladu $R_2 = R_3$ a $R_1 = R_4$ a $U_{Iref} = U_2$ a $U_b = U_1$

Byla zvolena hodnota referenčního napětí $U_{Iref} = 1V$, a zesílení $K_1 = \frac{R_2}{R_1} = \frac{250k\Omega}{100k\Omega} = 2,5$, díky tomu bude výstupní napětí v závislosti na proudu rozděleno na poloviny a splňovat vstupní rozsah A/D převodníku. Referenční napětí je vytvořeno ze stabilizovaného napájecího napětí pomocí nastavitelného děliče.



Obr. 3.1.2 Rozdělení proudu



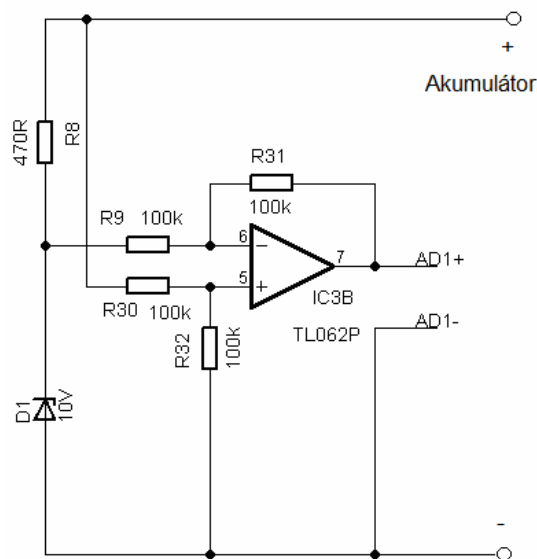
Obr. 3.1.3 Schéma proudového bočníku a měření napětí na něm

Maximální přesnost měření proudu je dána podílem měřeného rozsahu a rozlišovací schopností

$$\text{A/D převodníku. } \Delta I_{\min} = \frac{I_{1\max}}{8\text{bit}} = \frac{2A}{256} = 0,0078125A = 7,81mA$$

Dimenzování proudové cesty na plošném spoji je určeno dle [8], vodivou vrstvu plošného spoje tvoří měděná plocha tloušťky $a=35\mu m$, vodivá cesta šířky $d=1mm$ je schopna přenášet proud $I = 4,2A$ při oteplení $\Delta t = 30^\circ C$, při uvažování zátěže 10A musí být cesta široká minimálně $d=3,5mm$, pokud chceme zabránit možnosti přehřívání cesty nebo jejího propálení, může být zesílena připájením souběžného silnějšího měděného vodiče viz. 5.2

Rozsah měřeného napětí je upraven na $U_{AKU} = 10 \div 15V$ pomocí předřadného obvodu. Pro úpravu bylo zvoleno obdobné zapojení s operačním zesilovačem ve funkci rozdílového zesilovače, jako u měření proudu. Referenční napětí $U_{Uref} = 10V$ na invertujícím vstupu je operačním zesilovačem odečteno od napětí akumulátoru. Zdroj referenčního napětí je stabilizátor s zenerovou diodou. Vstupním napětím je napětí akumulátoru s předpokládaným rozsahem $U_{AKU} = 10 \div 15V$, zesílení operačního zesilovače není potřebné, je tedy zvoleno jednotkové. Výstupní upravené napětí tedy bude $U_{Uout} = (U_{AKU} - U_{Uref}) \cdot K_2 = (10 \div 15) - 10 = 0 \div 5V$



Obr. 3.1.4 Schéma úpravy měřeného napětí na akumulátoru

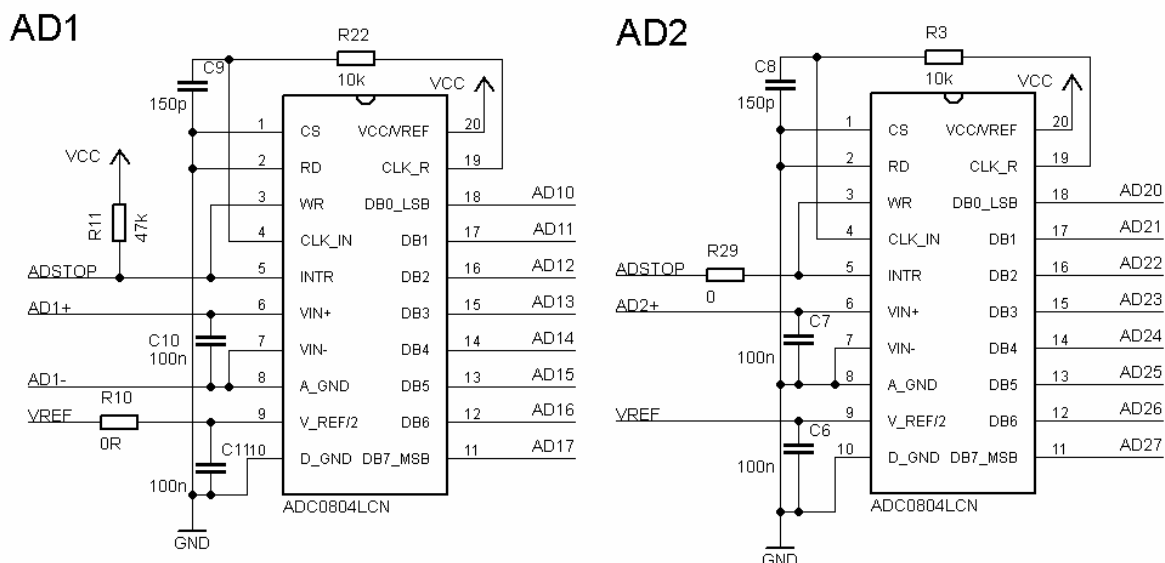
Maximální přesnost měření napětí je dána podílem měřeného rozsahu a rozlišovací schopností A/D

$$\text{převodníku. } \Delta U_{\min} = \frac{U}{8\text{bit}} = \frac{4V}{256} = 0,015625 = 15,6\text{mV}$$

Jak bylo řečeno výše, pro měření je využito 8-bitových paralelních A/D převodníků. Zapojení je dle doporučeného zapojení výrobce viz.[6], jedná se o automatický převod vstupního napětí na binární hodnotu s možností zastavení „freeze“ poslední hodnoty binárního slova na výstupu. Převodníky využívají stejné napájecí napětí jako mikropočítač $U_{cc} = 5V \pm 5\%$, dále

požadují referenční napětí $U_{ADref} = \frac{U_{cc}}{2} = 2,5V \pm 5\%$, výrobce doporučuje využití integrovaných

referenčních zdrojů např. LM336z 2.5, popř. využití prostého odporového děliče. Bylo zvoleno využití odporového děliče s ohledem na možnost použití SMD rezistorů a z toho vyplývající nenáročnost na prostor.

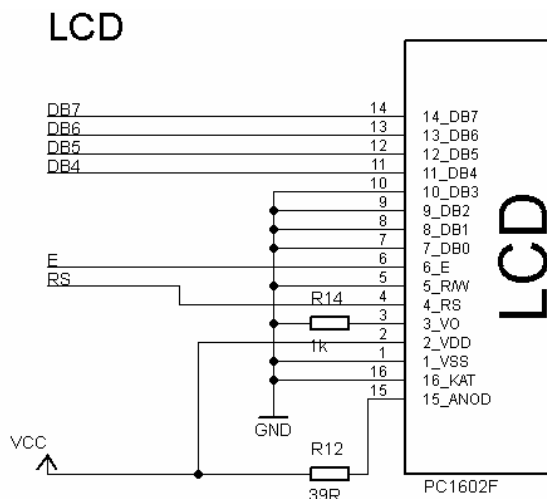


Obr. 3.1.5 Schéma zapojení AD převodníků

Možné jemné doladění hodnot obou zesilovačů je možné provést v programu pomocí pomocných konstant, viz. 4.1. odpor R10 = 0R plní funkci drátové propojky při tvorbě DPS.

3.2 Zobrazení výsledků

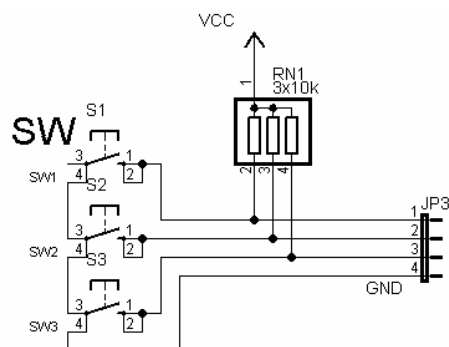
Pro zobrazení výsledků naměřených hodnot byl zvolen podsvícený dvouřádkový LCD displej PC1602F, 2x16 znaků s integrovaným řadičem. Zapojení vychází z [4], je to nejjednodušší zapojení pomocí čtyř drátové sběrnice. Zapojení umožňuje pouze zápis na displej, kontrast displeje je nastaven pevně pomocí rezistoru R14, podsvícení se spouští po připojení napájecího napětí, není jej možné ovládat.



Obr. 3.2 Schéma připojení LCD displeje

3.3 Ovládání

Pro ovládání a nastavování hodnot za provozu je modul opatřen třemi tlačítky umístěnými na čelním panelu pod LCD displejem, dvě tlačítka jsou označena šipkami a jedno nápisem ENTER. Tlačítka jsou přímo připojena na Port 0 mikropočítače a jsou doplněna Pull-up rezistory. Jsou použity mikrospínače s vysokým hmatníkem, jež dovoluje instalaci skrz čelo krabíčky bez nutnosti využití zvláštních hmatníků a doplňků. Při stisknutí tlačítka se na vstup mikropočítače dostane Log.0, pokud je tlačítko nestlačené je na vstupu díky pull-up rezistorům Log.1. Tlačítka jsou tvořena mechanickým kontaktem, jehož spínáním vznikají zákmity, které vytvářejí chybné vstupní informace – jeden stisk je vyhodnocen jako série impulzů. Ošetření zákmitů je možno vyřešit pomocí doplnění tlačítka o pomocné obvody – v nejjednodušším případě o paralelní kapacitu, nebo o Shmittův, popřípadě RS klopný obvod. Toto řešení je nevýhodné z hlediska větších požadavků na prostor a energetickou náročnost. Elegantním řešením při použití tlačítka s mikropočítačem je ošetření zákmitů v rámci programu viz. 4.3. Modul tlačítek je s hlavní deskou propojen pomocí krátkého čtyř žilového kabelu.

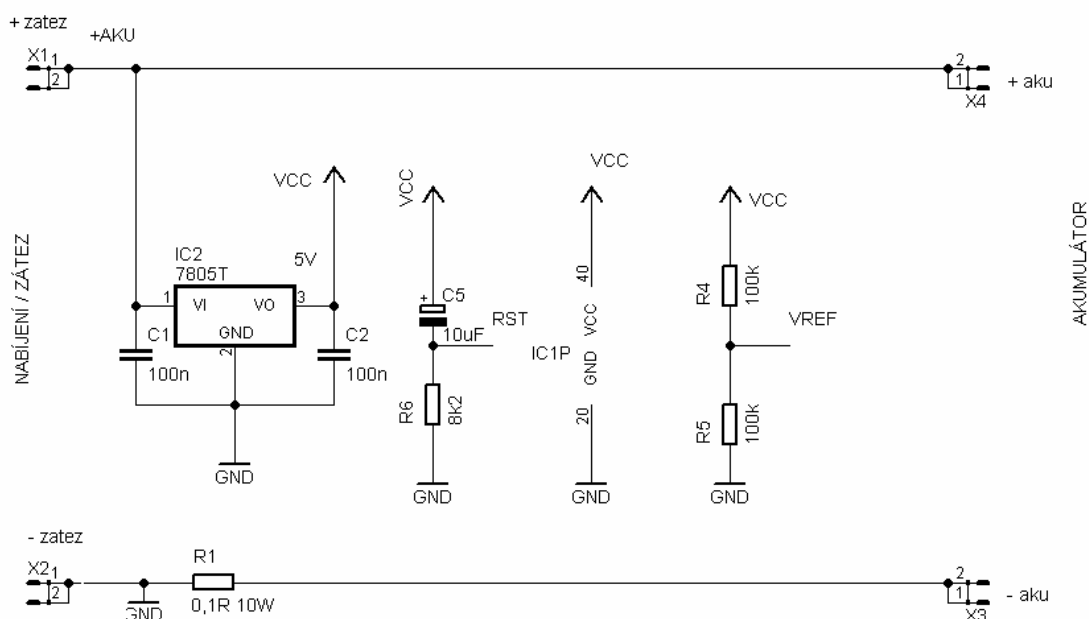


Obr. 3.3 Schéma připojení ovládacích tlačítek

3.4 Pomocné obvody

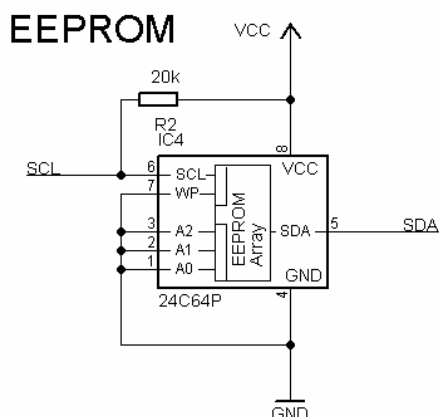
Základním obvodem pro práci mikropočítače a všech periferních obvodů je zdroj napájecího napětí. Mikropočítač pracuje s napájecím napětím $U_{cc} = 5V \pm 5\%$. Uvažujeme-li napájení z měřeného akumulátoru máme k dispozici napětí $U_{AKU} = 11 \div 15V$. Odběr celého zařízení by neměl přesahovat $I=100mA$, můžeme tedy využít integrovaného stabilizátoru 7805, jež je schopen dodat až 1,5A při napájecím napětí $6 \div 36V$. Nejvyšší ztrátový výkon v našem případě bude $P_{stab\ max} = (U_{AKU\ max} - U_{cc}) \cdot I = (15 - 5) \cdot 0,1 = 1W$, pro odvedení tepla plně postačí pouzdro stabilizátoru [9], není tedy třeba opatřit stabilizátor externím chladičem.

Dalším nepostradatelným obvodem pro práci mikropočítače je externí krystalový oscilátor a obvod obsluhující vstup Reset. Oba obvody vycházejí z doporučeného zapojení od výrobce [11]. Krystalový oscilátor je tvořen krystalem a dvěma keramickými kondenzátory, při pozdějším návrhu je nutné zajistit stejnou délku přírodních cest k jednotlivým vývodům krystalu. Obvod pro Reset zajišťuje resetování procesoru při každém připojení napájecího napětí. Zapojení Krystalového oscilátoru je jasně patrné z Obr. 3.



Obr. 3.4.1 Schéma zdrojů napětí a obvodu pro reset

Další periferií je sériová EEPROM paměť 24C64, poskytující 64kbit paměťového prostoru na I^2C sběrnici. Připojení paměti je jednoduché, vyžaduje pouze jediný pull-up rezistor na pin SCL. Doplnění modulu o externí paměť bylo zvoleno s ohledem na možnost rozšíření programového vybavení o dlouhodobé měřicí úlohy, např. měření kapacity, kdy vzniká velké množství dat pro zpracování nebo následné odeslání do PC.



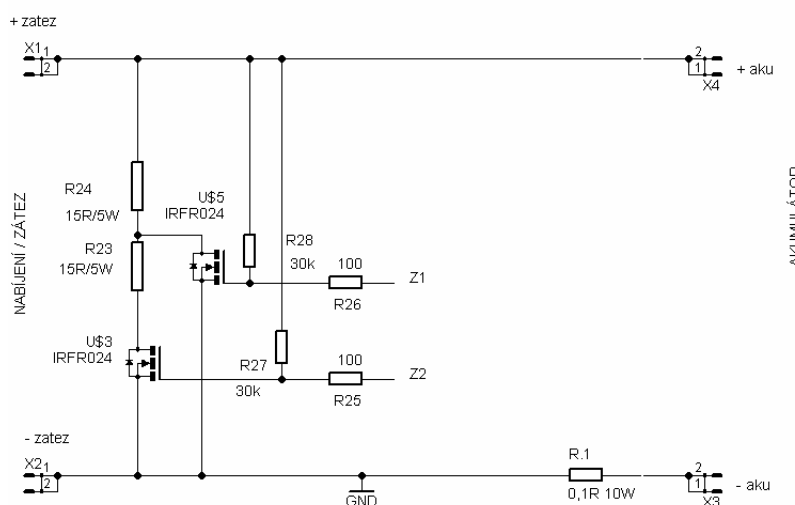
Obr.3.4.2 Schéma připojení EEPROM

Poslední periferií je ovladatelná přídavná zátěž hodnoty cca 0,4A a 0,8A (dle aktuálního napětí akumulátoru). Zátěž je vytvořena pomocí dvou výkonových rezistorů. Hodnota rezistorů

$$R_{23} = R_{24} = \frac{U_{AKU}}{I_Z} = \frac{12}{0,8} = 15\Omega$$

, zapojení umožňuje připojení pouze jednoho nebo sériově obou rezistorů, dosáhneme tím možnosti připojovat dvojí zátěž.

Připojování jednotlivých částí zátěže se provádí pomocí dvou odděleně řízených MOSFET tranzistorů. Tranzistory jsou vodivosti typu N, jsou tedy spínány kladným elektrickým polem, můžeme je tedy spínat přímo jednotlivými výstupy procesoru za pomoci pull-up rezistorů. Hodnoty pull-up rezistorů a rezistorů na vstupu tranzistorů jsou hodnoty udávány výrobcem.



Obr. 3.4.3 Schéma zapojení přídavné zátěže

4. Vytvoření programu

Pro vytvoření programu byl zvolen freeware textový editor PSPad s přiřazeným kompilátorem SDCC, určeným pro kompilaci jazyka C++

Pro kompilaci je nutné definovat knihovny, které budou sloužit pro kompilaci, určují typ procesoru, definují standardní funkce a ovládací rutiny, např. pro LCD, paměť apod. Celý program je kvůli rozsáhlosti uveden v příloze na CD, každý řádek je jednoduše okomentován. Tato kapitola se zabývá pouze některými vybranými důležitými částmi programu.

```
#include <at89x52.h>           //knihovna procesoru 89x52
```

Definuje vlastnosti všech funkcí tohoto procesoru. Názvy portů, pinů, časovačů, zdrojů přerušení a jejich umístění v paměti. Je standardní součástí knihoven SDCC.

```
#include <ATLCDTX2.h>       //knihovna pro obsluhu LCD
```

Zajišťuje přenos dat do LCD displeje, piny na které je displej připojen, funkce pohybu kurzoru na displeji.

```
#include <stdio.h>           //knihovna vstupů a výstupů
```

Jak název napovídá „Standard Input-Output“, definuje knihovna funkce typu putchar, getchar, printf, printf_x.

```
#include <stdlib.h>         //knihovna standardních funkcí
```

Dle názvu „Standard Library“, definuje základní datové typy, int, const, char, float, long.

4.1 Obsluha vstupů

Pro čtení dat z AD převodníků bylo použito definování portu, AD převodníky jsou připojeny na Portech 1 a 3, při definici jednoduše přiřadíme portům libovolný název. V našem případě snímá AD převodník na portu 1 napětí, byl mu přiřazen název Ubit (proměnná bude obsahovat bitovou hodnotu napětí), obdobně vznikl i název Ibit.

Pro kompenzaci chyby měření jsou zavedeny pomocné proměnné Upom a Ipom, které budou v programu sloužit pro jemné doladění hodnoty především proudu, kdy je nutná kompenzace vlastního odběru zařízení. Konstanty IBoc a Uo definují použitý proudový bočník (1A/10A) a napětí naprázdno plně nabitého akumulátoru, které slouží pro výpočet vnitřního odporu.

```
#define Ubit P1
```

```
#define Ibit P3
```

```
#define Upom 0.056
```

```
#define Ipom 0.188
```

```
#define IBoc 1
```

```
#define Uo 13
```

Dalším krokem je definice datových typů všech proměnných použitých v programu. Využíváme proměnné pro výpočet hodnot napětí a proudu. Proměnné Ua, Ub, Ia, Ib jsou typu int, mohou tedy nabývat hodnot celých čísel. Proměnné pro výpočet I a U jsou typu float, jedná se tedy o desetinná čísla.

```
int Ua;           //první bitové napětí
```

```
int Ub;           //druhé bitové napětí
```

```
int Ia;           //první bitový proud
```

```
int Ib;           //druhý bitový proud
```

```
float U;           //napětí
float I;           //proud
float Iz;          //proud zátěží
float Uz;          //napětí při zátěži
```

4.2 Obsluha LCD

Pro možnost snadného využití obou řádků displeje byla vytvořena funkce, která jednoduše posune kurzor na počátek druhého řádku.

```
void putchar(char c)           //funkce putchar
{
    if(c=='\n')                // definice nového řádku
        LCDpozice(0,1);        // pozice x=0, y=1 znamená začátek druhého řádku
    else
        LCDdata(c);            //jinak posílá data na LCD
}
```

Pro výpis na displej byla využita funkce **printf_fast_f("data",proměnná);** tato funkce není tolik náročná na paměť jako funkce „printf“, navíc je přímo určena pro práci s mikropočítači 89x52. Data jsou vpisována do pole v uvozovkách, tyto data se nebudou během zobrazování měnit – jedná se např. o text. názvy, jednotky apod.. Pokud požadujeme zobrazení proměnných, do pole s daty zapíšeme znak „%“, to nám upozorňuje, že na místě tohoto znaku se bude zobrazovat hodnota proměnné, uvedené za uvozovkami. Dále musíme určit jak se bude proměnná zobrazovat, např. jako celé číslo „%d“ (decimal), jako desetinné číslo „%f“ (float), můžeme také určit počet desetinných míst „%2.3f“ znamená zobrazení dvou míst před a tří míst za desetinnou čárkou. Ukázka:

```
printf_fast_f("<U Ri=%0.3f Ohm",Ri);
```

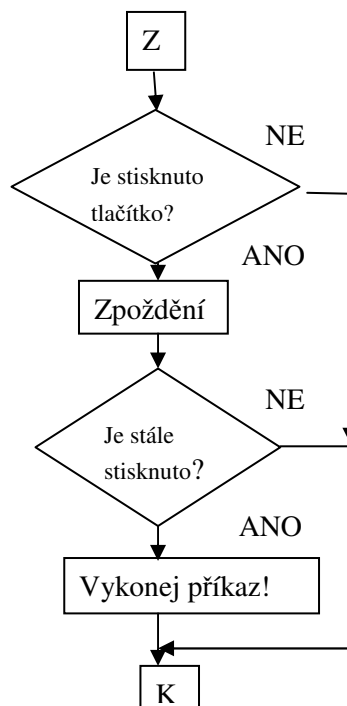
Vypíše na první řádek LCD text „<U Ri=yyyy.xxxOhm“ kde yyyy bude libovolný počet míst před a xxx budou 3 místa za desetinnou čárkou proměnné Ri.

4.3 Obsluha ovládání

Pomocí definování byly přiřazeny názvy jednotlivých tlačítek jejich portům.

```
#define S1 P0_0
#define S2 P0_1
#define S3 P0_2
```

Tlačítka jsou mechanické prvky s při sepnutí dochází k záskokům, jež mohou být procesorem vyhodnoceny jako série stisknutí, což je nežádoucí. Ošetření pomocí programu spočívá v kontrole správnosti odečtení hodnoty po malém časovém zpoždění, tím se nebere ohled na možné vzniklé záskoky.



Obr. 4.3 Vývojový diagram ošetření zákmitů tlačítek

4.4 Zpracování dat

Výpočet napětí vychází z přímého zpracování hodnoty načtené z AD převodníku. Převodník je 8-bitový, jeho výstup tedy nabývá hodnot $(0 \div 255)_{10}$, vstupní napětí je předřadnými obvody omezeno na $(0 \div 5)V$, oddělená nevyužitá část napětí akumulátoru(10V) je připočítána ve vzorci, převodní konstanta pro výpočet $K_U = \frac{U_{AKU}}{256} = \frac{5}{256} = 0,019531$, do vzorce je doplněna konstanta U_{pom} , která je využita pro odstranění případných odchylek.

$$U = (U_a * 0.019531) + 10 + U_{pom};$$

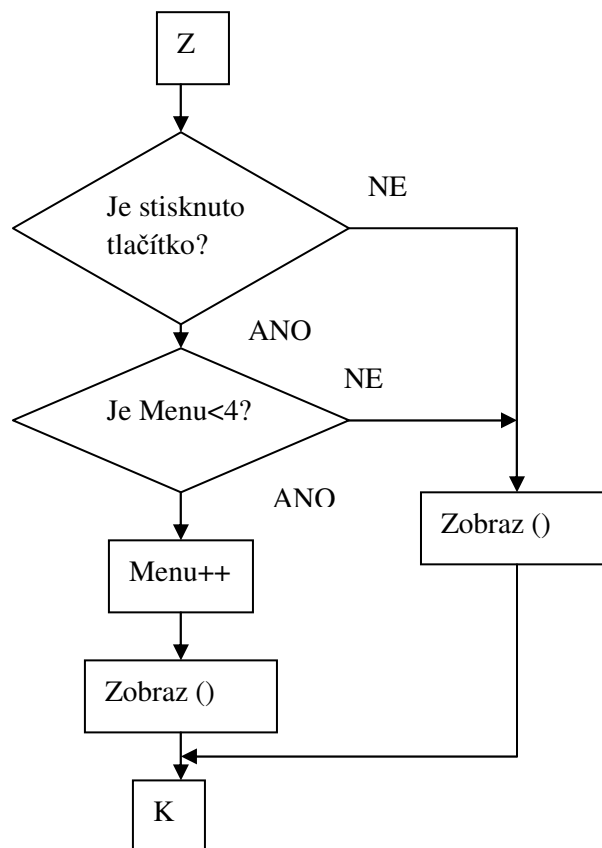
Výpočet proudu je obdobný výpočtu napětí, je doplněn o rozdělení proudu na kladný a záporný směr, viz. Obr. 3.1.2. Rozdělení na dva intervaly je provedeno jednoduchou podmínkou, vzorec upravuje protisměrnou charakteristiku na rozděleném rozsahu. Převodní konstanta vychází z maximální hodnoty napětí na proudovém bočníku $U_b = \pm 1V$, $K_I = \frac{2}{256} = 0,0078125$, dále je zavedena konstanta I_{Boc} , jež představuje použitý proudový bočník 1A/10A a konstanta I_{pom} , sloužící k odstranění odchylek měření.


```

if(Ia>128)
    I=-((Ia-128)*0.0078125*IBoc)-Ipom;
else
    I=(1-((Ia)*0.0078125*IBoc)-Ipom);

```

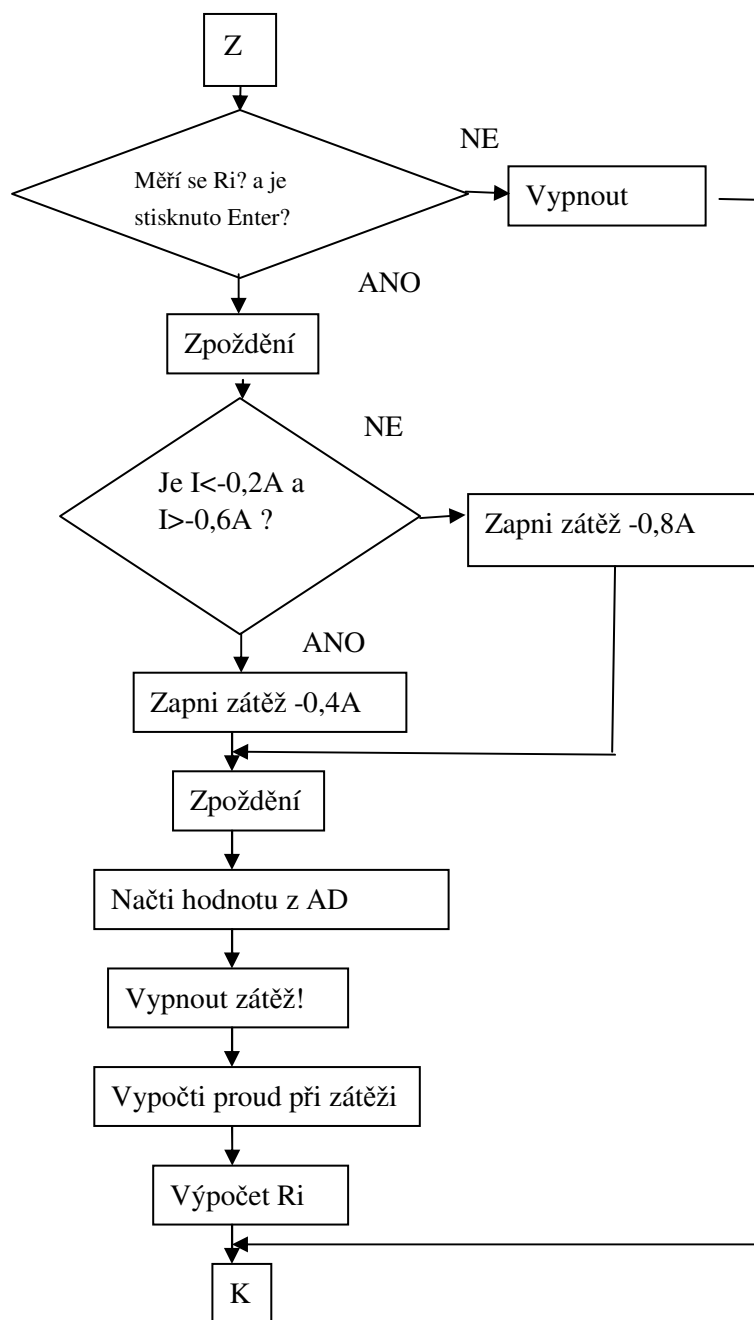
Zobrazovací menu je vytvořeno posuvné pomocí šipek, jednotlivá tlačítka šipek inkrementují / dekrementují proměnnou určující pozici v Menu. Dle hodnoty proměnné jsou zobrazovány jednotlivé pozice v menu na LCD displeji. Pro zjednodušení je ukázána pouze funkce inkrementující proměnnou, druhá funkce je naprosto totožná, pouze dekrementuje.



Obr. 4.4.1 Vývojový diagram menu

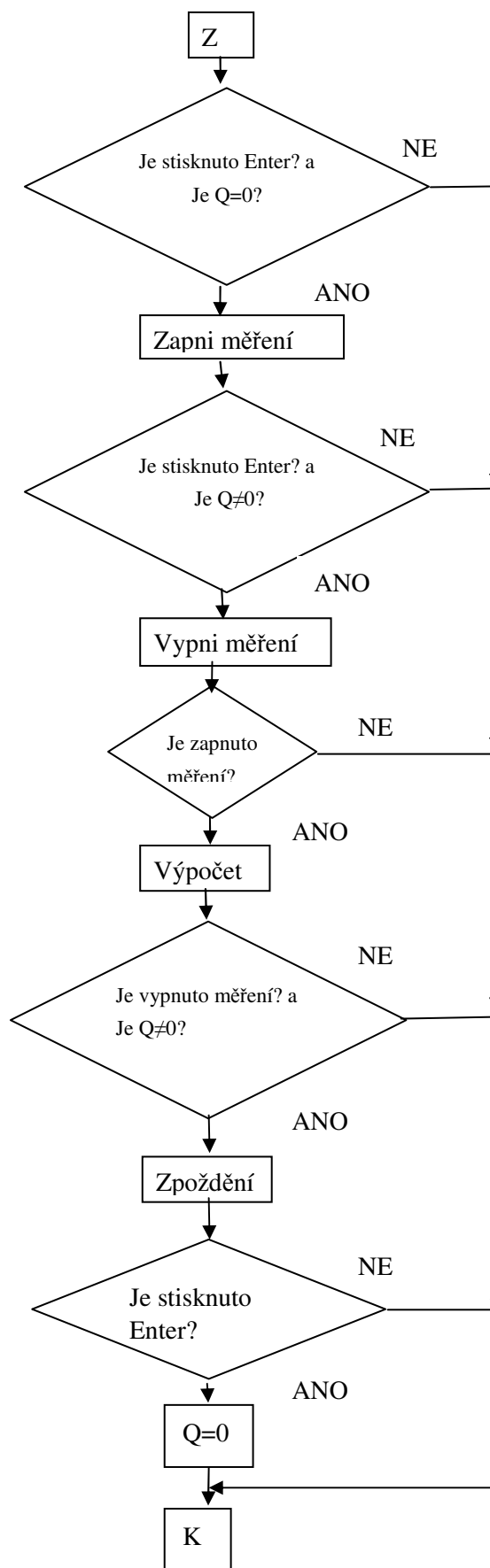
Vnitřní odpor je určován jako poměr rozdílu napětí a rozdílu proudu při připojené zátěži. Zařízení zatěžuje akumulátor vlastním minimálním odběrem, z tohoto důvodu musíme využívat rozdílu proudů při výpočtu R_i a zadaného napětí U_o , $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_o - U_z}{I - I_z}$.

U_o je napětí nabitého akumulátoru bez připojené zátěže, U_z je napětí zatíženého akumulátoru, $(I - I_z)$ je změna proudu při připojení zátěže. Pro měření R_i máme k dispozici spínatelnou zátěž, je nutná pro vytvoření dostatečného rozdílu změny proudu a tím i poklesu napětí akumulátoru. Je nutné ošetřit velikost připojované zátěže s ohledem na měřitelný rozsah proudu. I když je zátěž připojována na minimální dobu, je upraveno její použití pouze při měření R_i , aby nedocházelo k nechtěnému vybití akumulátoru při měření jiných veličin měří se pouze při stisknutém tlačítku Enter.



Obr. 4.4.2 Vývojový diagram výpočtu R_i

Měření přeneseného náboje je realizováno s využitím frekvence krystalového oscilátoru. Program umožňuje dle požadavků uživatele ruční Start/Stop/Reset měření. Při změně pozice menu zůstává měření (popř. zobrazená zastavená hodnota) stále v paměti a při návratu je opět zobrazena.



Obr. 4.4.3 Vývojový diagram měření přeneseného náboje

Výpočet aktuálního výkonu vychází z proudu a napětí při nabíjení/vybíjení akumulátoru. $P = U \cdot I$, pro výpočet v programu musíme použít jinou proměnnou než „P“, toto písmeno je vyhrazeno pro pojmenování Portů

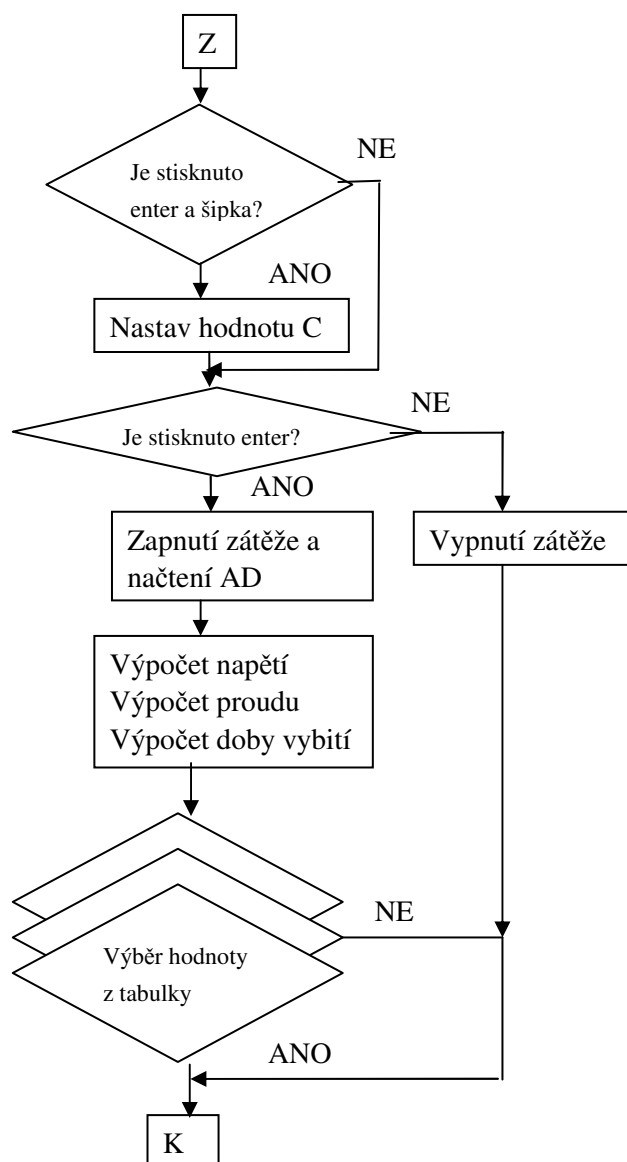
float W;

W=(U*I);

Určování zbytkové kapacity je založeno na poznatcích z vybíjecích charakteristik viz. 1.3. Akumulátory mají obdobné vybíjecí charakteristiky pro jednotlivé vybíjecí proudy v poměru s kapacitou akumulátoru. Těchto charakteristik je využito k vytvoření porovnávacích tabulek odpovídajících jednotlivým proudům. Proud lze měřit či uměle zvyšovat přímo přístrojem, další potřebnou veličinou je kapacita akumulátoru, jež musí uživatel ručně zadat. Po zadání kapacity a stisku Enter následuje automatické měření napětí akumulátoru při zátěži a dle srovnávacích tabulek odhad zbývajících kapacity. Vybíjecí charakteristiky akumulátoru s vysokou a nízkou kapacitou jsou rozdílné, proto je určení zbytkové kapacity omezeno pouze na krok 25%, pro přesnější měření by bylo nutné vytvořit srovnávací tabulky pro více rozdílných kapacit akumulátorů a jejich zatěžovacích proudů. Aby nedocházelo k nadměrnému umělému zatěžování malých akumulátorů vysokými proudy, je tento zatěžovací proud programově omezen na 0,4A pro akumulátory do jmenovité kapacity 2Ah. Aby nedocházelo k vybíjení akumulátoru při odpojené externí zátěži, je určování zbytkové kapacity prováděno pouze při zobrazení na displeji a stisknutí Enter, obdobně jako při měření vnitřního odporu.

$C = \frac{C_{AKU}}{I_z}$ (hod)	C5-C15	C15-C25	C25-C40
Zbytková kapacita (%)	U _z (V)		
100%	> 12,5	> 12,5	> 12,6
75%	12,2 ÷ 12,5	12,1 ÷ 12,5	12,1 ÷ 12,6
50%	11,7 ÷ 12,2	11,6 ÷ 12,1	11,7 ÷ 12,1
25%	11,0 ÷ 11,7	11 ÷ 11,6	11 ÷ 11,7
0%	< 11,0	< 11,0	< 11,1

Tab. 4.4 Určování zbytkové kapacity



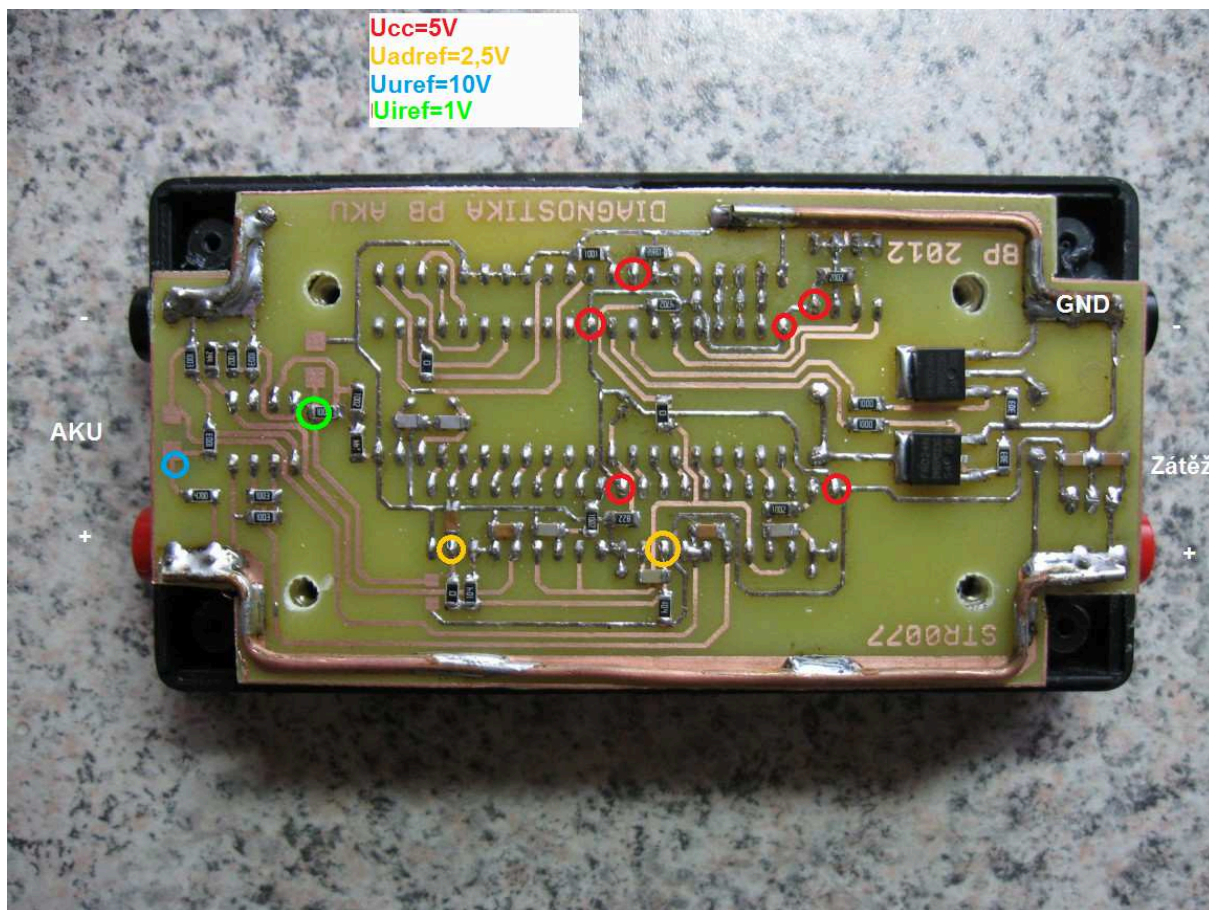
Obr. 4.4.4 Vývojový diagram určení zbytkové kapacity

5. Oživení

Jednotlivé osazené bloky byly opticky zkontrolovány, nedošlo-li k mechanickému poškození cest, nebo součástek, popř. slití cest při pájení.

Hlavní desku ponecháme bez osazených integrovaných obvodů, připojíme napájecí napětí na svorky akumulátoru. Nyní zkontrolujeme napájení všech obvodů $U_{cc} = 5V \pm 5\%$ dle Obr.8. Dále zkontrolujeme zdroje referenčních napětí pro AD převodníky $U_{ADref} = 2,5V \pm 5\%$ a pro operační zesilovač zpracování napětí $U_{Uref} = 10V$. Pomocí trimru nastavíme referenční napětí operačního zesilovače pro zpracování proudu na $U_{Iref} = 1V$.

Hlavní desku zasuneme do připravených konektorů vstupních a výstupních svorek, zároveň kontrolujeme správné zasunutí konektoru připojujícího LCD. Desku připevníme proti vypadnutí pomocí čtyř šroubků doplněných o plastové podložky, krátký plochý kabel připojující modul s tlačítky schováme do prostoru mezi hlavní desku a LCD displej. Přiložíme zadní díl krabičky a připevníme čtyřmi vruty.



Obr.5 Body kontroly pro oživení

5.1 Naprogramování modulu

Mikropočítač je vybaven sběrnici pro programování v zapojení ISP (In System Programming). Bohužel v našem zapojení nemohla být využita kvůli připojení AD převodníku na Port 1, jež blokuje programovací sběrnici. Pro naprogramování byl zvolen vlastní externí paralelní programátor ATprog, umožňuje jednoduché čtení i zápis HEX souborů do paměti mikropočítače.

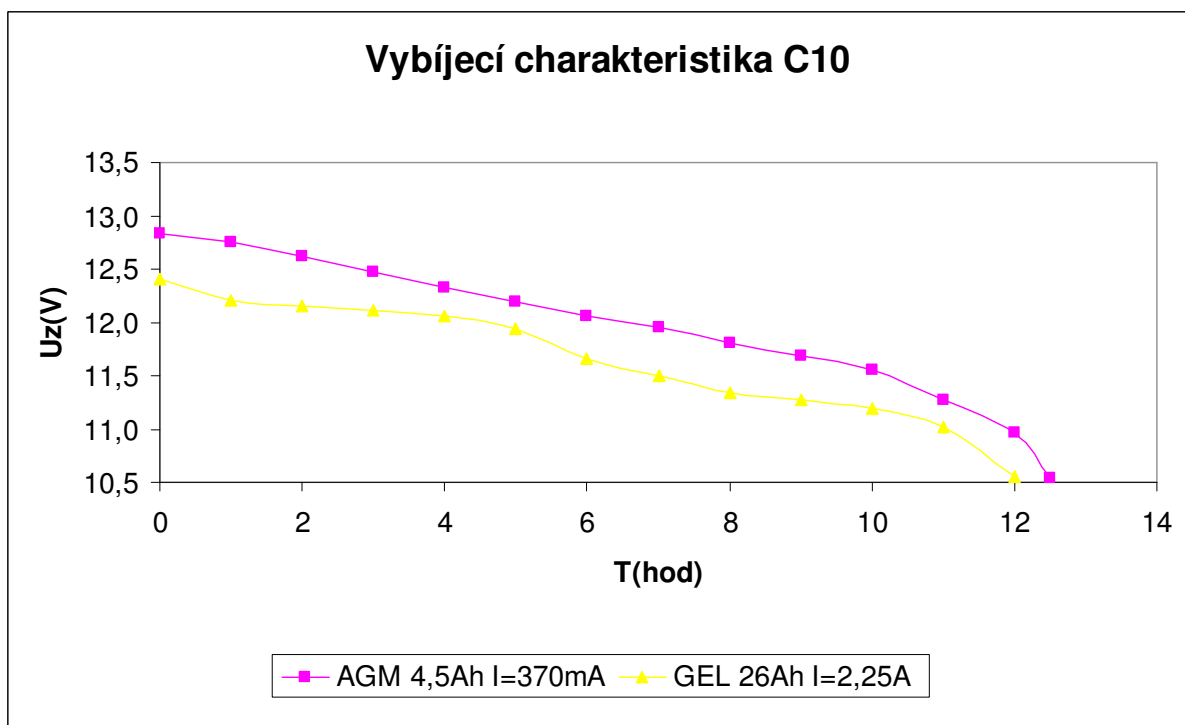
5.2 Ověření funkčnosti měření

Byla zkontrolována správnost zobrazovaných hodnot, při odchylce od skutečných hodnot byla upravena pomocná konstanta v hlavičce programu viz. kap. 4.1

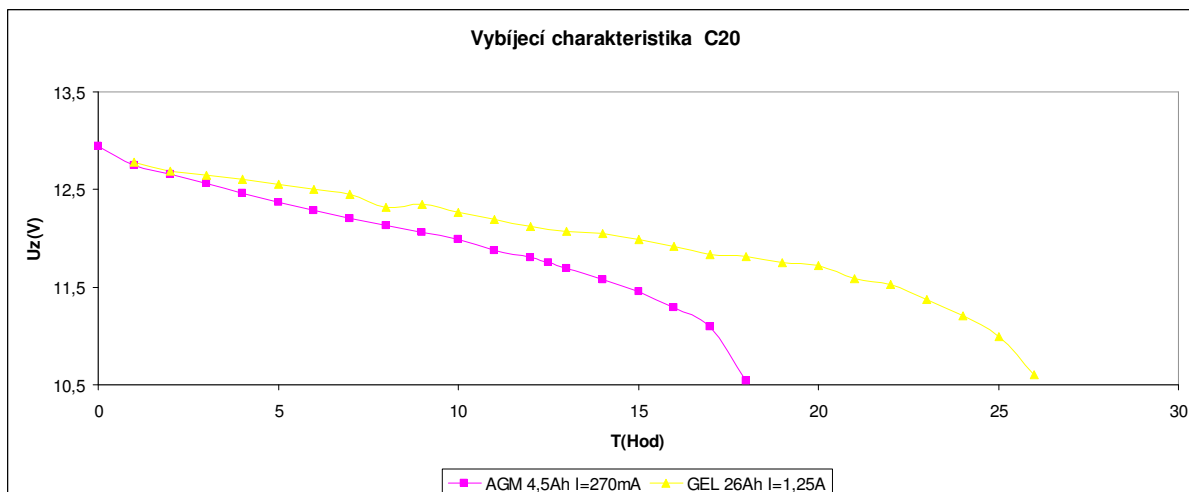
Správnost naměřených hodnot byla ověřena kontrolním měřením s digitálním multimetrem UNI-T DT830D . Měření bylo provedeno pro napětí a proud měřený modulem, jako zdroj byl využit stolní regulovatelný zdroj 0-15V/0-3A.

Digitální multimetr		Měřicí modul	
U(V)	I(A)	U(V)	I(A)
10	0	10,66	0
11	0,1	11,07	0,114
12	0,35	12,03	0,367
13	0,5	13	0,523
14	0,61	13,95	0,621
15	0,72	14,86	0,742

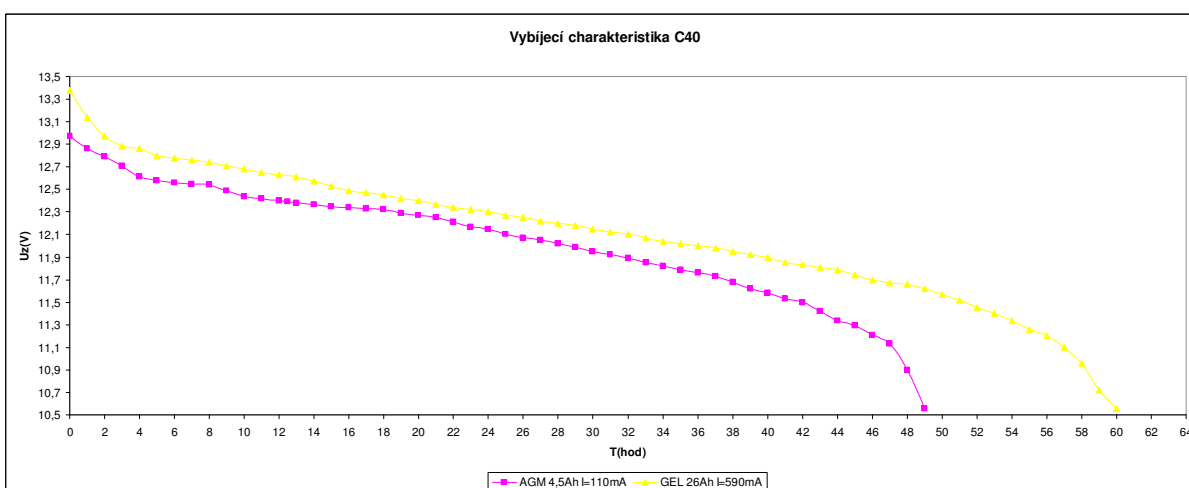
Tab. 5.2 Kontrolní měření



Obr. 5.2.1 Vybíjecí charakteristiky C10

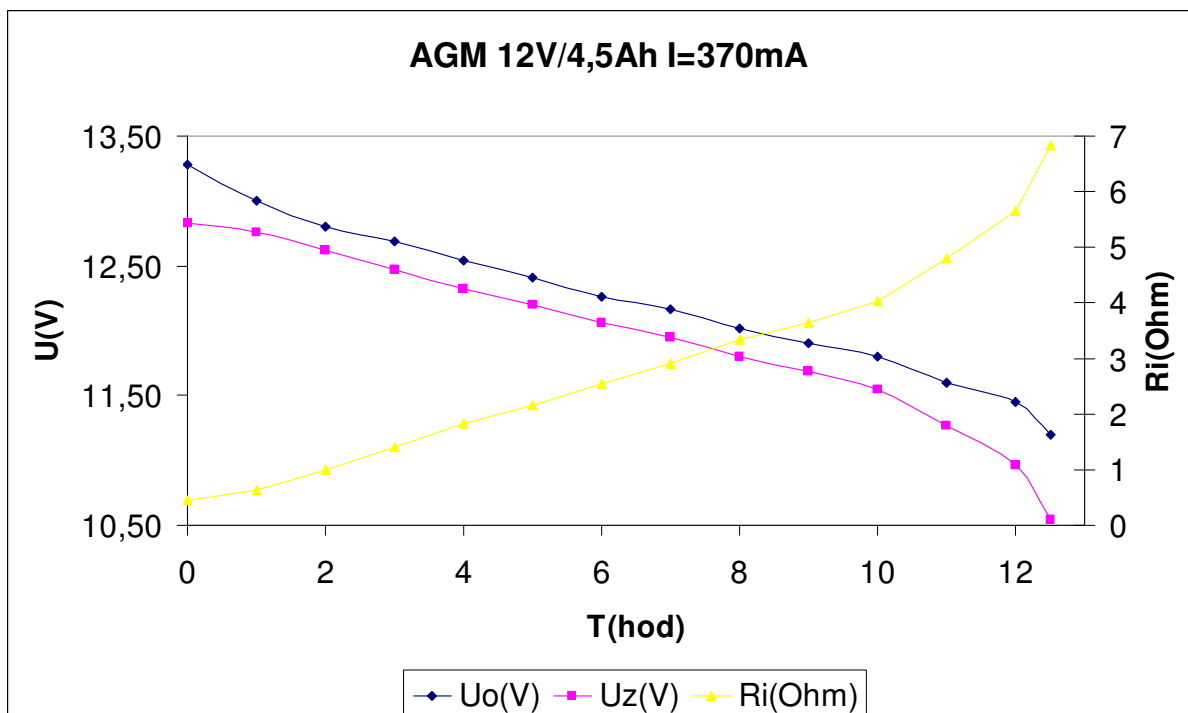


Obr. 5.2.2 Vybíjecí charakteristiky C20

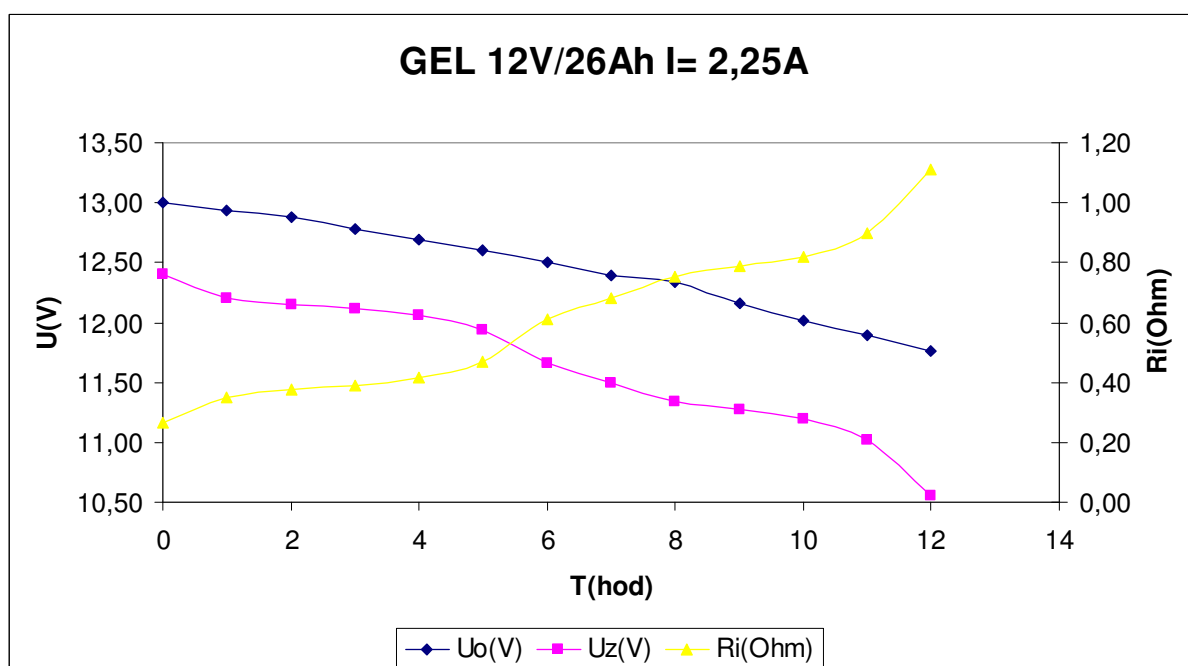


Obr. 5.2.3 Vybíjecí charakteristiky C40

Z vybíjecích charakteristik je patrná vyšší linearita akumulátoru AGM při vybíjení vyšším proudem, oproti tomu Gelový akumulátor vykazoval mnohem vyšší kapacitu při vybíjení nízkým proudem. Charakteristiky sloužily pro vytvoření srovnávacích tabulek pro zbytkovou kapacitu. Charakteristiky odpovídají teoretickým předpokladům a potvrzují možnost diagnostiky pomocí napětí akumulátoru při zátěži.



Obr. 5.2.4 Vybíjecí charakteristika C10 u AGM



Obr. 5.2.5 Vybíjecí charakteristika C10 u GEL

Kvůli rozdílné velikosti kapacity není možné naprosté srovnávání akumulátorů. Z charakteristik vyplývá větší „tvrdost“ Gelového akumulátoru, jeho vnitřní odpor je téměř 7x nižší než u AGM, oproti tomu i při mnohem nižší kapacitě nabízí AGM téměř lineární napětí při vybíjení.

Závěr:

Cílem práce bylo vytvořit modul pro diagnostiku olověných 12V akumulátorů s využitím jednočipového mikropočítače, tohoto cíle bylo dosaženo. V teoretické části jsou rozebrány možné metody diagnostiky zbytkové kapacity akumulátoru a jejich využitelnost v praxi. Teoreticky určená diagnostika pomocí napětí při zátěži byla ověřena jako nejvhodnější pro použití v praxi. Modul splňuje všechny požadavky a umožňuje měření základních důležitých veličin.

Modul nabízí možnost výrazného rozšíření programového vybavení díky připojené externí paměti EEPROM, např. o dlouhodobé měřicí úlohy – celé vybíjecí charakteristiky, charakteristiky přeneseného náboje atd. Dalším možným rozšířením je propojení modulu s PC pro možnost grafického zobrazení naměřených dat.

Využití modulu je neomezené, může sloužit pro diagnostiku libovolného 12V olověného akumulátoru kdekoliv v zařízení, např. v záložních zdrojích, trakčních bateriích, akumulátorech pro malé solární elektrárny...

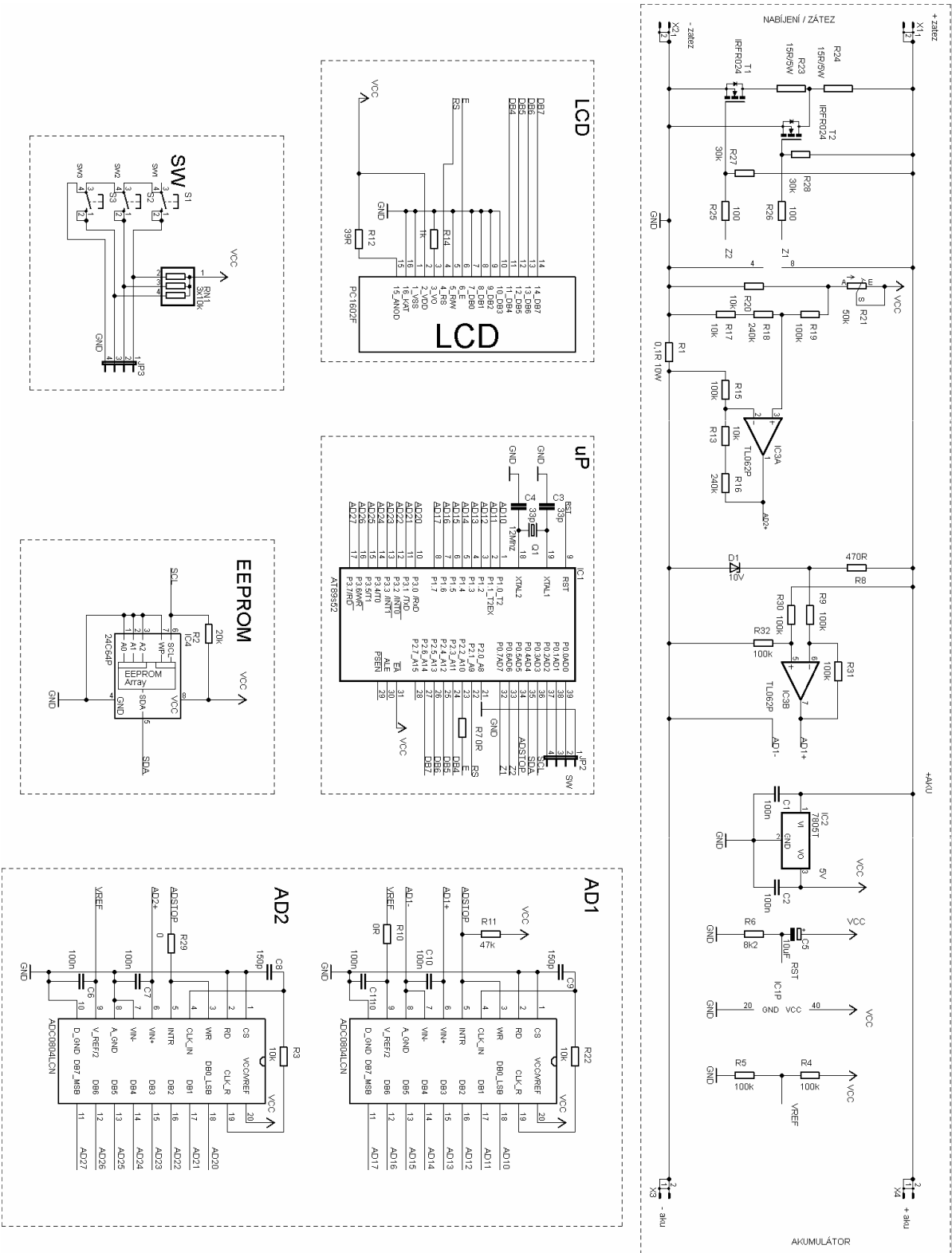
Literatura

- [1] FRONC V., KLÚČIK J. Mikrokontroléry ATMEL s jádrem 8051. Praha: BEN, 2002.
ISBN 80-7300-008-3
- [2] Hrabovský M., Juránek A. EAGLE návrhový systém pro plošné spoje. Praha: BEN, 2007.
ISBN 80-7300-213-2
- [3] ANTOŠOVÁ M., DAVÍDEK V. Číslicová technika. České Budějovice: Kopp, 2006.
ISBN 80-7332-207-9
- [4] MATOUŠEK D., C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52. Praha: BEN, 2007.
ISBN 978-80-7300-2
- [5] <http://www.gme.cz/prevodniky-ostatni/acs758lcb-100b-pff-p533-003/>
- [6] <http://www.gme.cz/ad-prevodniky-paralelni/adc0804cn-p320-011/>
- [7] <http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt030.htm>
- [8] <http://www.printed.cz/ke-stazeni>
- [9] <http://www.gme.cz/linearni-regulatory-napeti-pevne/7805-p330-001/>
- [10] www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olov.pdf
- [11] <http://www.gme.cz/mikroprocesory-8051-family/at89s52-24pu-p432-198/#popis>
- [12] <http://www.elnika.cz/elnika.php?p=cze/akumulatory-specifikace>

Seznam příloh

Seznam příloh.....	I
Schéma zapojení.....	II
Uživatelská příručka.....	III
Deska plošných spojů.....	V
Osazovací plán	VI
Tabulky naměřených hodnot vybíjecích charakteristik.....	VII

Schéma zapojení



Uživatelská příručka

Diagnostický modul 12V olověných akumulátorů

Technické parametry:

Měřené napětí: 10-15V (přesnost 19,5mV)

Měřený proud: $\pm 1(10)$ A dle použitého bočníku (přesnost 7,81(78,1) mA) dle použitého bočníku

Měření vnitřního odporu (přesnost 24,3m Ω)

Měření přeneseného náboje (Ah)

Určování zbytkové kapacity (0%, 25%, 50%, 75%, 100%)

Ovládání modulu je provedeno třemi tlačítky a je intuitivní. Ovládací menu je jednoúrovňové posuvné pomocí tlačítek s šipkami.

Menu:

1) Měření Napětí a proudu (U,I), hodnota se průběžně zobrazuje

Stisk šipka **Vpravo**

2) Měření Vnitřního odporu (Ri)

Stisk **Enter**

Zobrazení hodnoty odporu, hodnota se průběžně zobrazuje

Stisk šipka **Vpravo**

3) Měření Výkonu (P), hodnota se průběžně zobrazuje

Stisk šipka **Vpravo**

4) Měření Přeneseného náboje (Q)

1) Stisk **Enter**

Start měření, hodnota se průběžně zobrazuje

2) Stisk **Enter**

Zastavení měření, hodnota zobrazena na displeji

3) Stisk **Enter**

Vynulování hodnoty

Stisk šipka **Vpravo**

5) Určení Zbytkové kapacity (C)

1) Stisk **Enter** a šipka **Vpravo**, nastavení kapacity akumulátoru

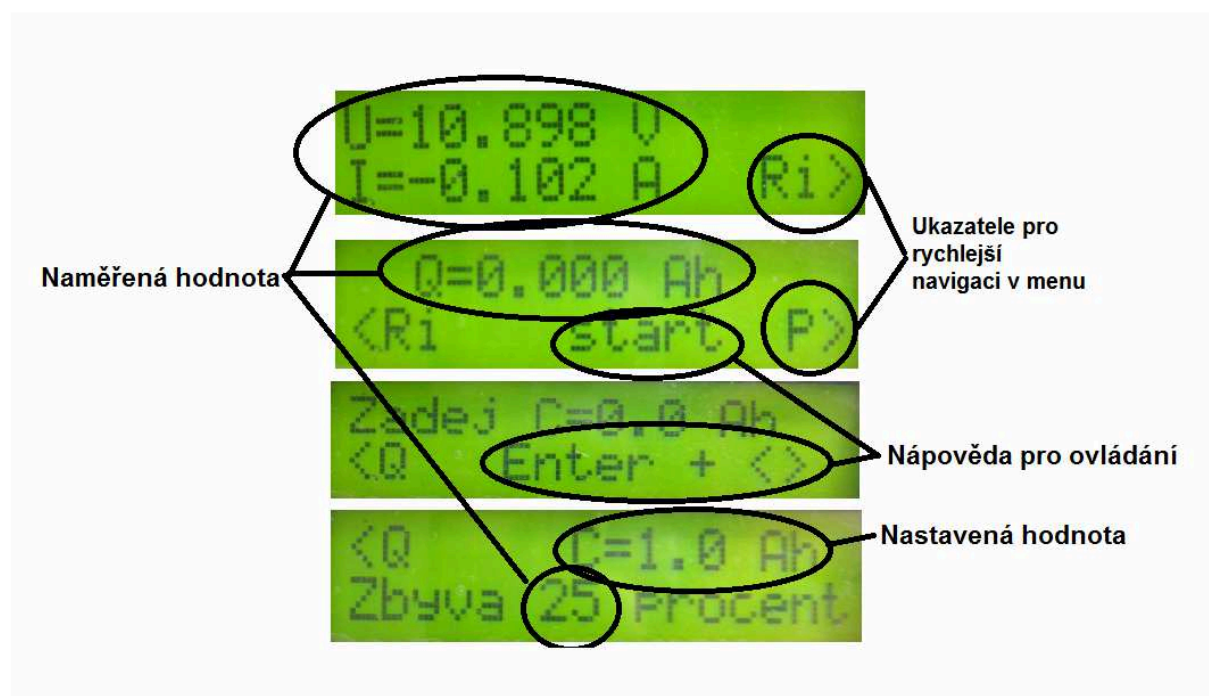
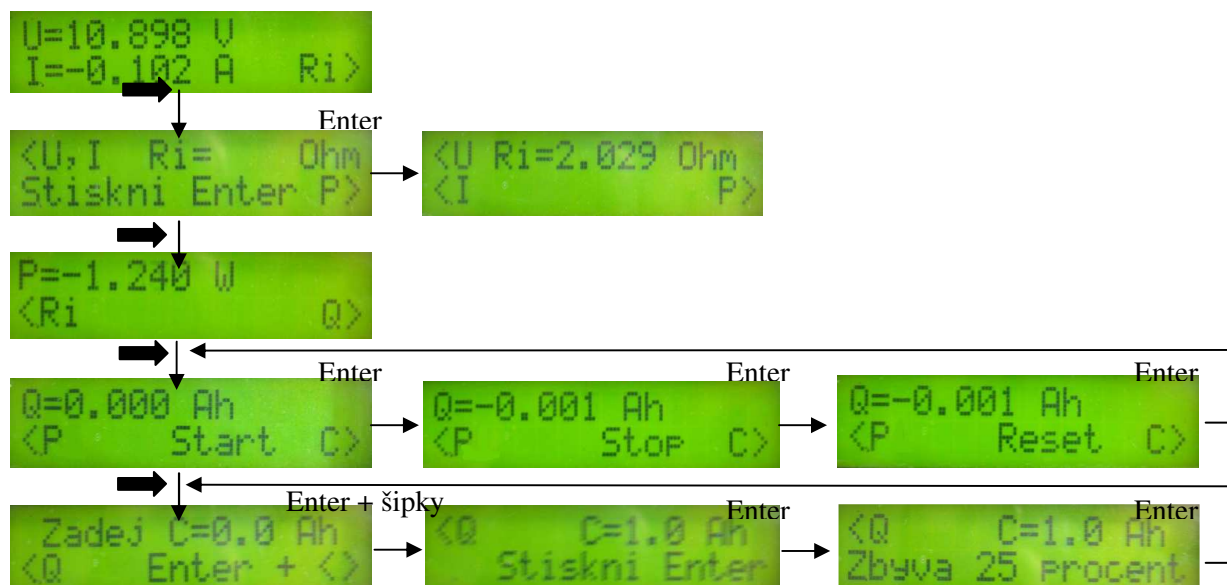
Přičtení kapacity, hodnota se průběžně zobrazuje

2) Stisk **Enter** a šipka **Vlevo**

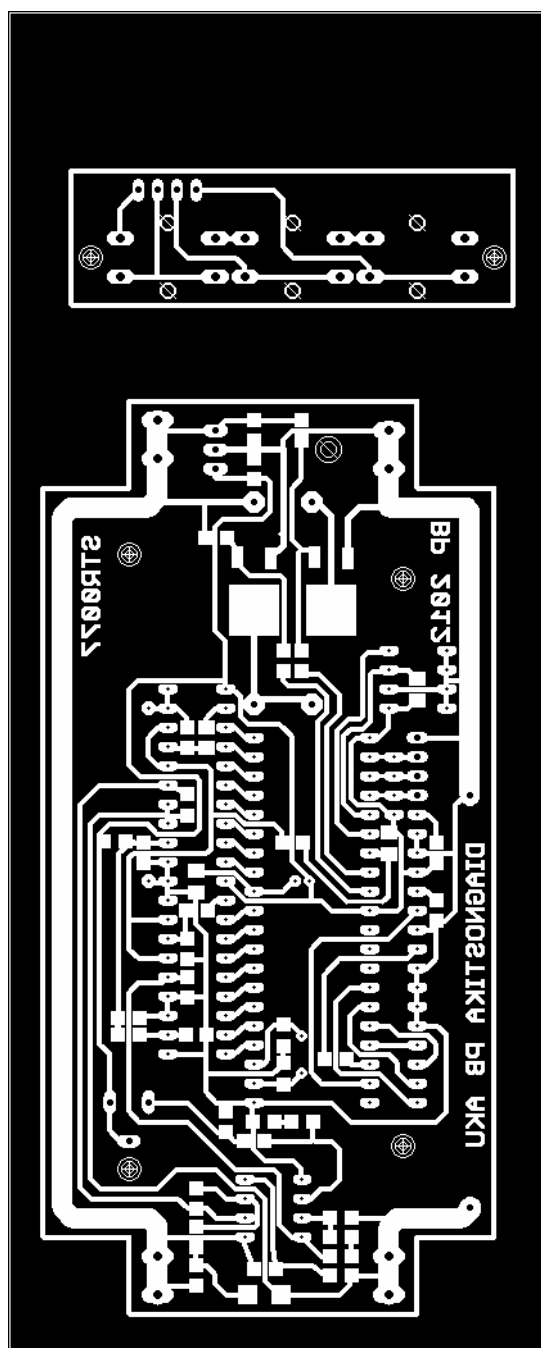
Odečtení kapacity, hodnota se průběžně zobrazuje

3) Stisk **Enter**

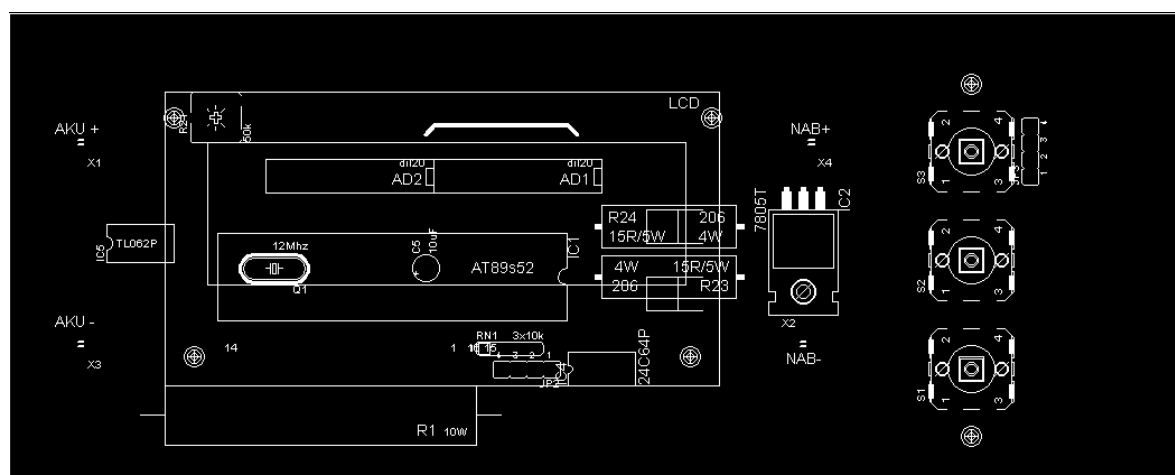
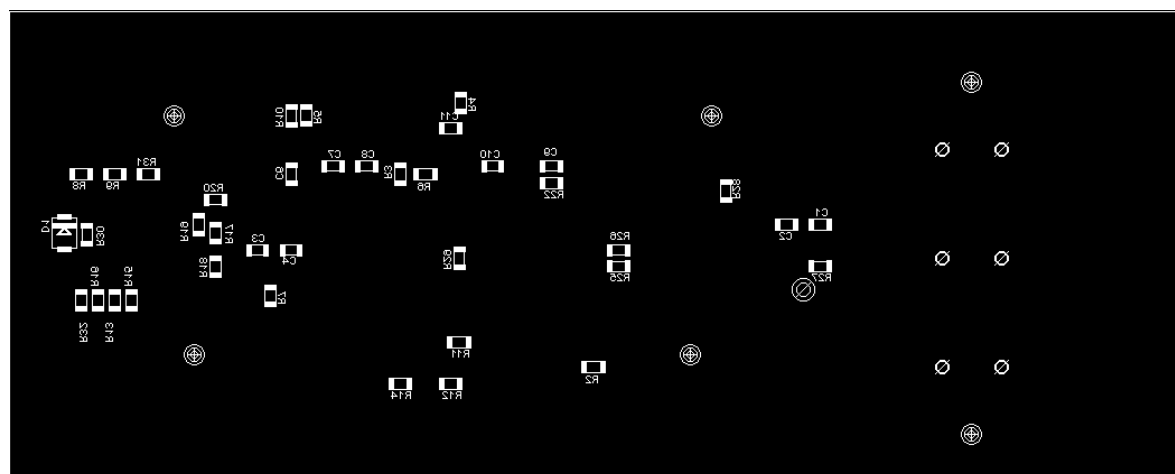
Zobrazení zbytkové kapacity



Deska plošných spojů



Osazovací plán



Tabulky naměřených hodnot vybíjecích charakteristik

AKU AGM 12V/4,5Ah						AKU GEL 12V/26Ah					
T(hod)	I(A)	U _o (V)	U _z (V)	Q(Ah)	R _i (Ω)	I(A)	U _o (V)	U _z (V)	Q(Ah)	R _i (Ω)	
0	0,38	13,28	12,83	0	0,45	2,25	13,00	12,40	0	0,27	
1	0,38	13,00	12,76	-0,38	0,63	2,25	12,94	12,21	-2,25	0,35	
2	0,38	12,80	12,62	-0,76	1,00	2,25	12,88	12,15	-4,5	0,38	
3	0,38	12,69	12,47	-1,14	1,39	2,25	12,78	12,12	-6,75	0,39	
4	0,37	12,54	12,32	-1,48	1,84	2,25	12,69	12,06	-9	0,42	
5	0,37	12,41	12,20	-1,85	2,16	2,25	12,60	11,94	-11,25	0,47	
6	0,37	12,26	12,06	-2,22	2,54	2,2	12,50	11,66	-13,2	0,61	
7	0,36	12,17	11,95	-2,52	2,92	2,2	12,39	11,50	-15,4	0,68	
8	0,36	12,02	11,80	-2,88	3,33	2,2	12,34	11,34	-17,6	0,75	
9	0,36	11,90	11,69	-3,24	3,64	2,2	12,16	11,27	-19,8	0,79	
10	0,36	11,80	11,55	-3,6	4,03	2,2	12,02	11,20	-22	0,82	
11	0,36	11,60	11,27	-3,96	4,81	2,2	11,90	11,02	-24,2	0,90	
12	0,36	11,45	10,96	-4,32	5,67	2,2	11,76	10,55	-26,4	1,11	
12,5	0,36	11,20	10,54	-4,5	6,83						

Tab.1 Naměřené hodnoty - Vybíjecí charakteristiky C10

AKU AGM 12V/4,5Ah						AKU GEL 12V/26Ah					
T(hod)	I(A)	Uo(V)	Uz(V)	Q(Ah)	Ri(Ω)	I(A)	Uo(V)	Uz(V)	Q(Ah)	Ri(Ω)	
0	0,27	13,5	13	0	0,19	1,25	13,05	12,98	0	0,02	
1	0,27	13,12	12,8	-0,27	0,93	1,25	12,93	12,78	-1,25	0,18	
2	0,27	12,9	12,7	-0,54	1,26	1,25	12,85	12,69	-2,5	0,25	
3	0,27	12,75	12,6	-0,81	1,63	1,25	12,8	12,65	-3,75	0,28	
4	0,27	12,67	12,5	-1,08	2,00	1,25	12,76	12,61	-5	0,31	
5	0,27	12,56	12,4	-1,35	2,33	1,25	12,71	12,55	-6,25	0,36	
6	0,27	12,48	12,29	-1,62	2,63	1,25	12,66	12,5	-7,5	0,40	
7	0,27	12,4	12,2	-1,89	2,93	1,25	12,63	12,45	-8,75	0,44	
8	0,27	12,34	12,1	-2,16	3,22	1,25	12,55	12,32	-10	0,54	
9	0,27	12,25	12,1	-2,43	3,48	1,2	12,52	12,35	-10,8	0,54	
10	0,26	12,15	12	-2,6	3,88	1,2	12,44	12,27	-12	0,61	
11	0,26	12,06	11,9	-2,86	4,31	1,2	12,4	12,2	-13,2	0,67	
12	0,26	12	11,8	-3,12	4,62	1,2	12,36	12,12	-14,4	0,73	
13	0,26	11,89	11,7	-3,38	5,04	1,2	12,27	12,07	-15,6	0,78	
14	0,25	11,8	11,6	-3,5	5,68	1,2	12,25	12,05	-16,8	0,79	
15	0,25	11,65	11,5	-3,75	6,16	1,2	12,22	11,99	-18	0,84	
16	0,25	11,5	11,3	-4	6,84	1,2	12,19	11,92	-19,2	0,90	
17	0,25	11,26	11,10	-4,25	7,60	1,2	12,15	11,84	-20,4	0,97	
18	0,25	10,96	10,5	-4,5	9,84	1,2	12,05	11,81	-21,6	0,99	
19						1,2	11,97	11,75	-22,8	1,04	
20						1,2	11,82	11,72	-24	1,07	
21						1,2	11,74	11,59	-25,2	1,18	
22						1,2	11,62	11,53	-26,4	1,23	
23						1,2	11,5	11,37	-27,6	1,36	
24						1,2	11,41	11,21	-28,8	1,49	
25						1,2	11,32	10,99	-30	1,68	
26						1,2	11,2	10,6	-31,2	2,00	

Tab. 2 Naměřené hodnoty - Vybíjecí charakteristiky C20

AKU AGM 12V/4,5Ah

AKU GEL 12V/26Ah

T(hod)	I(A)	Uo(V)	Uz(V)	C(Ah)	Ri(Ω)	I(A)	Uo(V)	Uz(V)	C(Ah)	Ri(Ω)
0	0,11	13,09	13	0	0,27	0,59	13,75	13,38	0	0,64
1	0,11	13,05	12,9	-0,11	1,27	0,59	13,6	13,14	-0,59	0,24
2	0,11	13,02	12,8	-0,22	1,91	0,59	13,4	12,97	-1,18	0,05
3	0,11	12,98	12,7	-0,33	2,64	0,59	13,3	12,88	-1,77	0,20
4	0,11	12,95	12,6	-0,44	3,55	0,59	13,15	12,86	-2,36	0,24
5	0,11	12,92	12,6	-0,55	3,82	0,59	13,05	12,8	-2,95	0,34
6	0,11	12,89	12,6	-0,66	4,00	0,59	12,95	12,78	-3,54	0,37
7	0,11	12,85	12,6	-0,77	4,09	0,59	12,92	12,76	-4,13	0,41
8	0,11	12,8	12,5	-0,88	4,18	0,59	12,87	12,74	-4,72	0,44
9	0,1	12,77	12,5	-0,9	5,10	0,59	12,82	12,71	-5,31	0,49
10	0,1	12,75	12,4	-1	5,60	0,59	12,78	12,68	-5,9	0,54
11	0,1	12,71	12,4	-1,1	5,80	0,59	12,75	12,65	-6,49	0,59
12	0,1	12,61	12,4	-1,2	6,00	0,59	12,73	12,63	-7,08	0,63
13	0,1	12,59	12,4	-1,3	6,30	0,59	12,71	12,61	-7,67	0,66
14	0,1	12,55	12,4	-1,4	6,50	0,59	12,69	12,57	-8,26	0,73
15	0,1	12,51	12,4	-1,5	6,60	0,59	12,67	12,53	-8,85	0,80
16	0,1	12,5	12,3	-1,6	6,60	0,59	12,65	12,49	-9,44	0,86
17	0,1	12,49	12,3	-1,7	6,70	0,59	12,62	12,47	-10	0,90
18	0,1	12,45	12,3	-1,8	6,80	0,59	12,6	12,45	-10,6	0,93
19	0,1	12,42	12,3	-1,9	7,10	0,59	12,57	12,42	-11,2	0,98
20	0,1	12,4	12,3	-2	7,30	0,59	12,55	12,4	-11,8	1,02
21	0,1	12,37	12,3	-2,1	7,50	0,59	12,53	12,37	-12,4	1,07
22	0,1	12,33	12,2	-2,2	7,90	0,59	12,5	12,34	-13	1,12
23	0,1	12,29	12,2	-2,3	8,30	0,59	12,48	12,32	-13,6	1,15
24	0,1	12,28	12,2	-2,4	8,50	0,59	12,46	12,3	-14,2	1,19
25	0,1	12,26	12,1	-2,5	9,00	0,59	12,43	12,27	-14,8	1,24
26	0,1	12,22	12,1	-2,6	9,30	0,59	12,4	12,25	-15,3	1,27
27	0,1	12,16	12,1	-2,7	9,50	0,59	12,37	12,22	-15,9	1,32
28	0,1	12,09	12	-2,8	9,80	0,59	12,35	12,2	-16,5	1,36
29	0,1	12,06	12	-2,9	10,10	0,59	12,33	12,18	-17,1	1,39
30	0,1	12,05	12	-3	10,50	0,59	12,3	12,15	-17,7	1,44
31	0,1	12,02	11,9	-3,1	10,80	0,59	12,28	12,12	-18,3	1,49
32	0,1	11,97	11,9	-3,2	11,10	0,59	12,25	12,1	-18,9	1,53
33	0,1	11,94	11,9	-3,3	11,50	0,59	12,23	12,07	-19,5	1,58
34	0,1	11,91	11,8	-3,4	11,80	0,58	12,2	12,04	-19,7	1,66
35	0,1	11,88	11,8	-3,5	12,10	0,58	12,17	12,02	-20,3	1,69
36	0,1	11,82	11,8	-3,6	12,40	0,58	12,14	12	-20,9	1,72
37	0,1	11,79	11,7	-3,7	12,70	0,58	12,12	11,98	-21,5	1,76
38	0,1	11,77	11,7	-3,8	13,20	0,58	12,1	11,95	-22	1,81
39	0,1	11,73	11,6	-3,9	13,80	0,58	12,07	11,92	-22,6	1,86
40	0,1	11,7	11,6	-4	14,20	0,58	12,03	11,9	-23,2	1,90
41	0,1	11,64	11,5	-4,1	14,70	0,58	12	11,85	-23,8	1,98
42	0,1	11,53	11,5	-4,2	15,00	0,58	11,98	11,83	-24,4	2,02
43	0,1	11,41	11,4	-4,3	15,80	0,58	11,96	11,81	-24,9	2,05
44	0,1	11,32	11,3	-4,4	16,60	0,58	11,93	11,79	-25,5	2,09
45	0,1	11,23	11,3	-4,5	17,10	0,58	11,91	11,74	-26,1	2,17
46	0,1	11,16	11,2	-4,6	17,90	0,58	11,89	11,7	-26,7	2,24

47	0,1	11,1	11,1	-4,7	18,70	0,58	11,84	11,67	-27,3	2,29
48	0,1	11,05	10,9	-4,8	21,00	0,58	11,81	11,66	-27,8	2,31
49	0,1	10,98	10,6	-4,9	24,40	0,57	11,79	11,62	-27,9	2,42
50						0,57	11,75	11,57	-28,5	2,51
51						0,57	11,73	11,52	-29,1	2,60
52						0,57	11,69	11,45	-29,6	2,72
53						0,57	11,68	11,4	-30,2	2,81
54						0,57	11,64	11,34	-30,8	2,91
55						0,57	11,59	11,26	-31,4	3,05
56						0,57	11,55	11,2	-31,9	3,16
57						0,57	11,5	11,1	-32,5	3,33
58						0,57	11,46	10,96	-33,1	3,58
59						0,57	11,43	10,72	-33,6	4,00
60						0,57	11,4	10,56	-34,2	4,28

Tab. 3 Naměřené hodnoty - Vybíjecí charakteristiky C40